



# Exploração da substituição parcial do potássio pelo sódio em plantações de *Eucalyptus grandis*.

Dr. Jean-Paul **Laclau** (CIRAD / USP)  
Prof. Julio Cesar Raposo de **Almeida** (UNITAU)  
Dr. Carlos Roberto **Sette Jr.** (ESALQ)  
Ailton Raphael **Romão** (UNESP)  
Dr. Yann **Nouvellon** (CIRAD / USP)  
Dr. Jean-Pierre Bouillet (CIRAD / USP)  
Prof. Iraê Amaral **Guerrini** (UNESP)  
Prof. José Leonardo de Moraes **Gonçalves** (ESALQ)



# Introdução

- **Plantações florestais: 205 milhões ha no mundo em 2005 (+ 2,5 millions ha / ano em 2000-2005),**



- **Aumento recente das áreas plantadas com eucaliptos no Brasil de aprox. 200 000 ha / ano.**



# Introdução

- **Papel importante das plantações de eucaliptos para suprir a demanda mundial em madeira,**
- **Geralmente instaladas sobre solos com baixas potencialidade agrícola,**
- **Muitos estudos mostraram que a adubação é essencial para a sustentabilidade destas florestas,**
- **Objetivo essencial do manejo florestal: manter a capacidade dos solos a produzir e preservar o meio ambiente.**

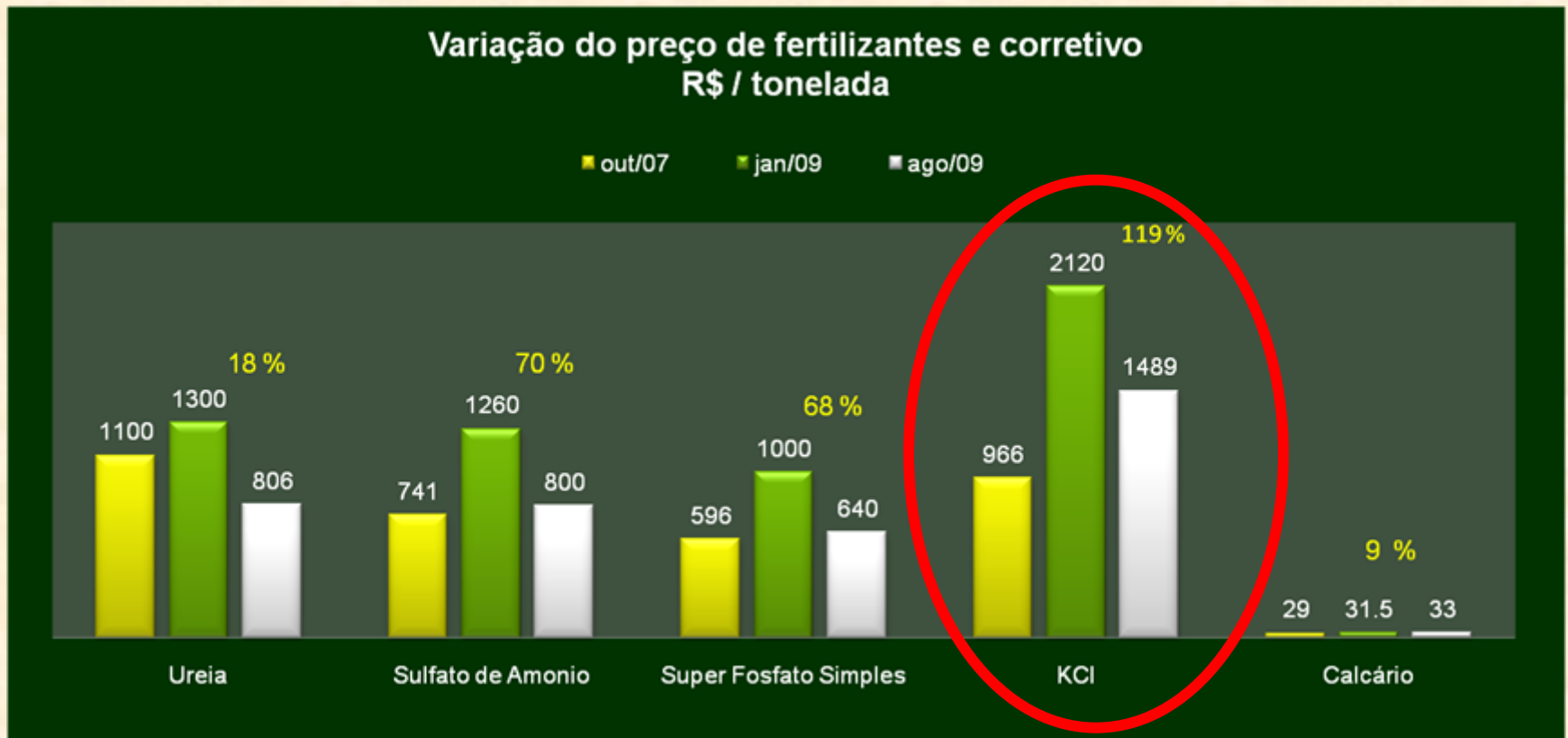


# Introdução

- **Muitos estudos mostraram uma resposta forte do eucalipto à adubação com KCl (primeira rotação e talhadia);**
- **Eucaliptos podem crescer perto do mar na África em solos com baixíssimos teores de  $K^+$  sem respostas à adubação em KCl (Laclau, 2001).**



## Variação no preço (R\$/ton) de fertilizantes e corretivo





# Informações existentes

**Marschner (1995) distingua 4 grupos de espécies:**

- (1) espécies com uma resposta positiva** à aplicação de NaCl mesmo quando a disponibilidade de K é alta;
- (2) espécies com uma resposta positiva** à aplicação de NaCl, **mas menos marcada** que no grupo 1 e com uma proporção de K substituído menor sem efeito depressivo sobre a produção;
- (3) espécies com uma substituição possível** do K pelo Na **muito limitada** sem efeito sobre o crescimento;
- (4) espécies sem substituição** possível do K pelo Na.



# Informações existentes

- **A maiorias das culturas pertencem aos grupos 3 e 4.**
- **Mas uma resposta positiva à aplicação de NaCl observada para:**
  - **algodão** (Zhang et al., 2006);
  - **tomata** (Hohjo et al., 2001);
  - **beterava** (Marschner, 1995) e as Chenopodiaceae;
  - **coqueira** (Bonneau et al., 1997).
- **Nunca observado para árvores** (Subbarao et al., 2003).

# Características do Na

## Similitude química entre o potássio e o sódio

### Essential and Beneficial Elements in Higher Plants

- Essential Mineral Element
- Beneficial Mineral Element
- Essential Nonmineral Element

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt									
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb		
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No		





# Informações existentes

- **Efeitos fisiológicos do  $K^+$ :**
  - biofísico: turgescencia, controle estomático,...
  - bioquímicos: pH baixo para as reações bioquímicas da fotossíntese, co-fator de enzimas, síntese do amido,...
  - mobilidade na escala da planta: íons, açúcares,...
- **Efeitos fisiológicos possíveis do  $Na^+$ :**
  - efeitos biofísicos e mobilidade iônica.

**Mas concentrações altas no citoplasma das folhas são tóxicas**



# Hipóteses do trabalho

- Os *Eucalyptus* tem uma resposta positiva à aplicação de NaCl nos ambientes com uma forte carência em K.
- Uma parte dos processos fisiológicos envolvendo o  $K^+$  nos eucaliptos pode ser cumprida pelo  $Na^+$ .
- Além da resposta ao K pode ter uma resposta ao Cl.
- Uma mistura de KCl e NaCl na adubação pode permitir a mesma produção de biomassa que a aplicação de KCl puro.



# Objetivos da palestra

- **Avaliar o potencial de uma adubação misturando KCl e NaCl para a silvicultura do eucalipto;**
- **Identificar algumas funções similares nas árvores para o  $\text{Na}^+$  e do  $\text{K}^+$ ;**
- **Propor algumas perspectivas de pesquisas sobre este assunto.**



An aerial photograph of a large-scale tree plantation. The trees are arranged in neat, parallel rows, creating a strong sense of order and perspective. A central, unpaved path or clearing runs vertically through the middle of the plantation, separating the rows of trees. The foliage is a vibrant green, and the ground between the trees appears to be covered in brown mulch or dry leaves. The text "Local de estudo" is overlaid in the center of the image.

Local de estudo



# Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (ESALQ/USP)

Estado de São Paulo, aprox. 30 km de Botucatu.





# Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (ESALQ/USP)

Declividade < 3%,  
Historico com 60 anos de produção de eucalipto sem adubação.



# Condições locais

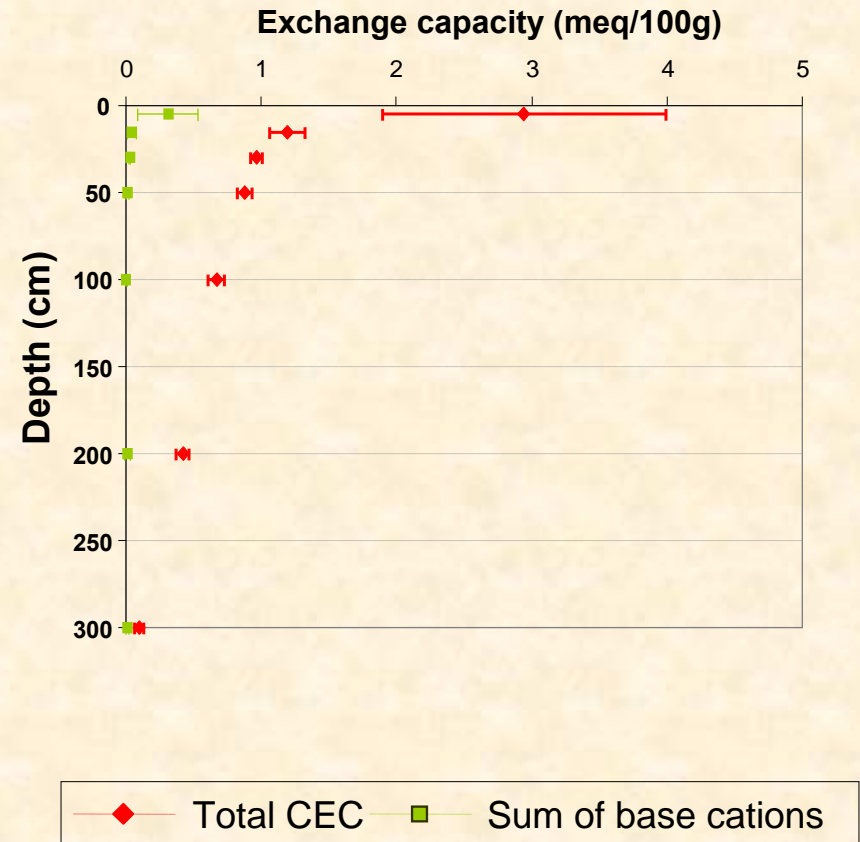
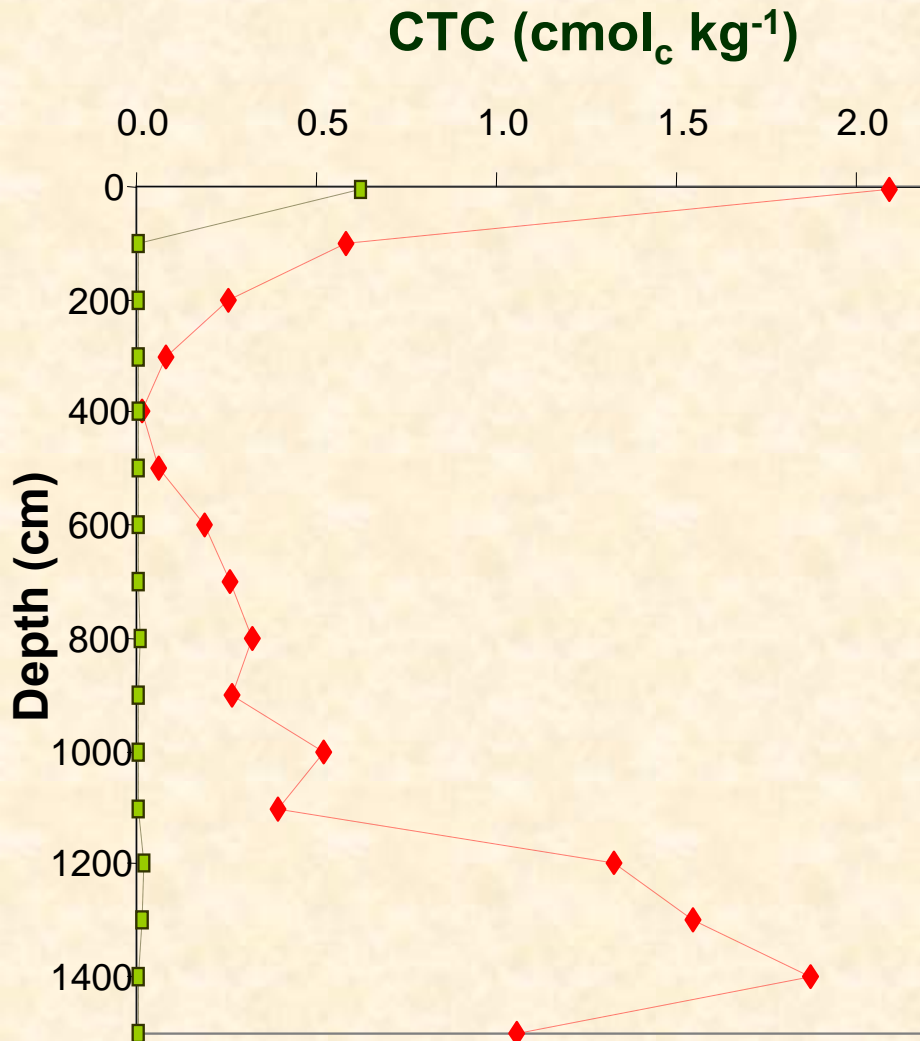
## ■ Clima

- Pluviometria media: 1400 mm / ano (2000 mm em 2009);
- Não tem um deficit hídrico marcado;
- Temperatura media: 20°C.

## ■ Solo

- Latossolo Vermelho Amarelo distrófico;
- Textura média (200 g kg<sup>-1</sup> de argila);
- Substrato Arenito.

# Capacidade de troca catiónica até 15 m





# Tratos silviculturais

- Calagem: 2 t/ha em superfície
- 80 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (em covetas laterais)
- 120 kg ha<sup>-1</sup> de N [NH<sub>4</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>]
- 30 kg ha<sup>-1</sup> de FTE (BR-12)
- Controle de plantas daninhas (Glifosate 3 l / ha)

# Experimento

- Implantação

- Maio de 2004

- Espécie

- *Eucalyptus grandis* (proced. Coff's Harbor - Suzano )

- Espaçamento - Área

- 3x2m (1666 plantas/ha) – 1,7 ha

- Doses de K e Na

- Dividida em 3 adubações no primeiro ano



# Doses de K e Na

Tratamentos	Nutriente						Adubo		
	K	Na	K (K <sub>2</sub> O)	Na	Cl	S	KCl	NaCl	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	— kmol ha <sup>-1</sup> —		— kg ha <sup>-1</sup> —				— kg ha <sup>-1</sup> —		
<b>T -K-Na</b>	<b>0,0</b>		<b>0 (0)</b>		<b>0</b>		<b>0</b>		
<b>K<sub>1,5</sub></b>	1,5		58 (70)		53		110		
<b>K<sub>3,0</sub> +K</b>	<b>3,0</b>		<b>116 (140)</b>		<b>105</b>		<b>220</b>		
<b>K<sub>4,5</sub></b>	4,5		174 (210)		158		330		
<b>KS<sub>3,0</sub></b>	3,0		116 (140)			47			260
<b>Na<sub>3,0</sub> +Na</b>		<b>3,0</b>		<b>68,5</b>	<b>106</b>			<b>175</b>	
<b>K<sub>1,5</sub> + Na<sub>1,5</sub></b>	1,5	1,5	58 (70)	34,3	105		110	87	

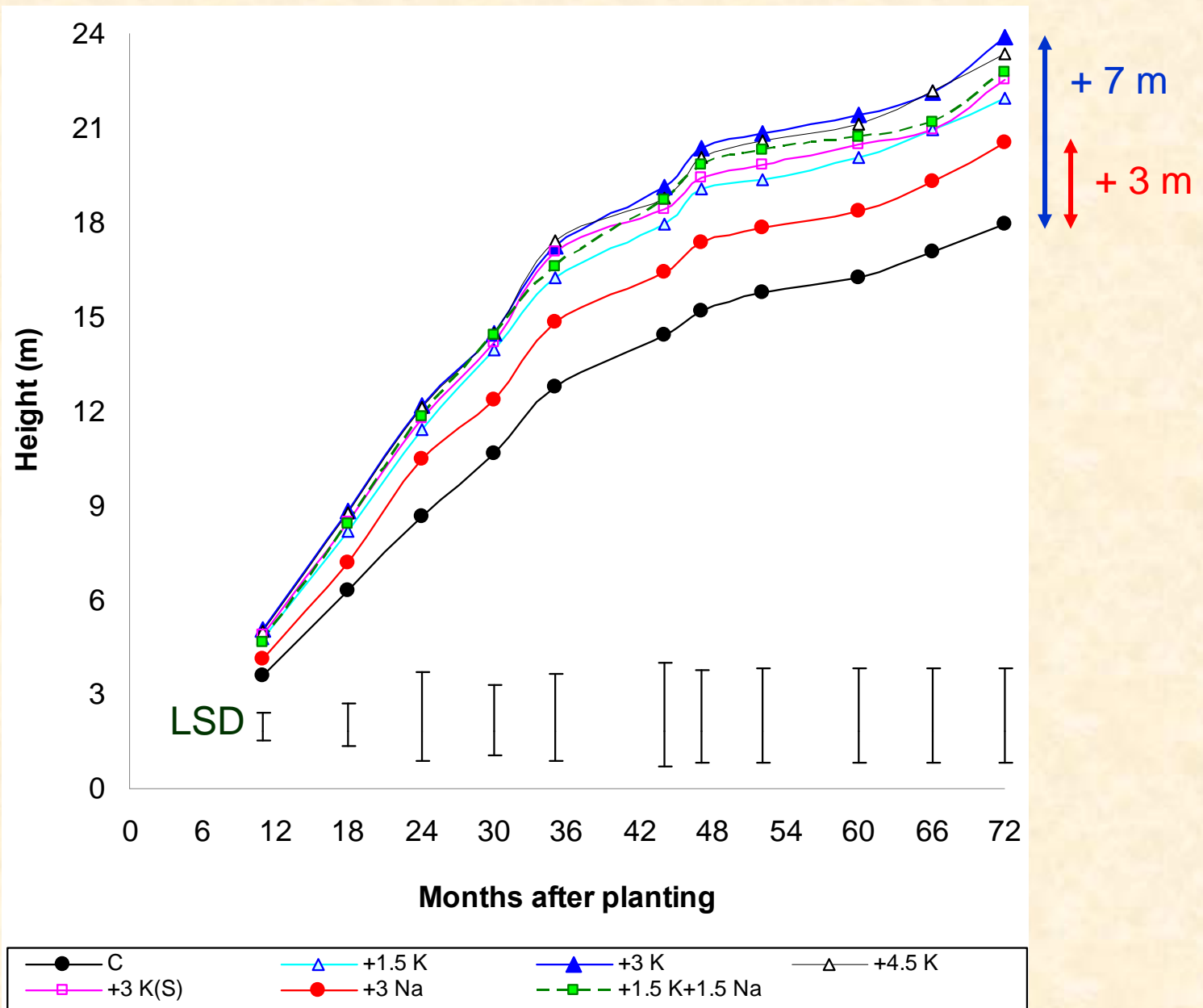
+ aplicação de 1,5 kmol K ha<sup>-1</sup> no K<sub>3,0</sub> e 1,5 kmol Na ha<sup>-1</sup> no Na<sub>3,0</sub>

5 anos após plantio.

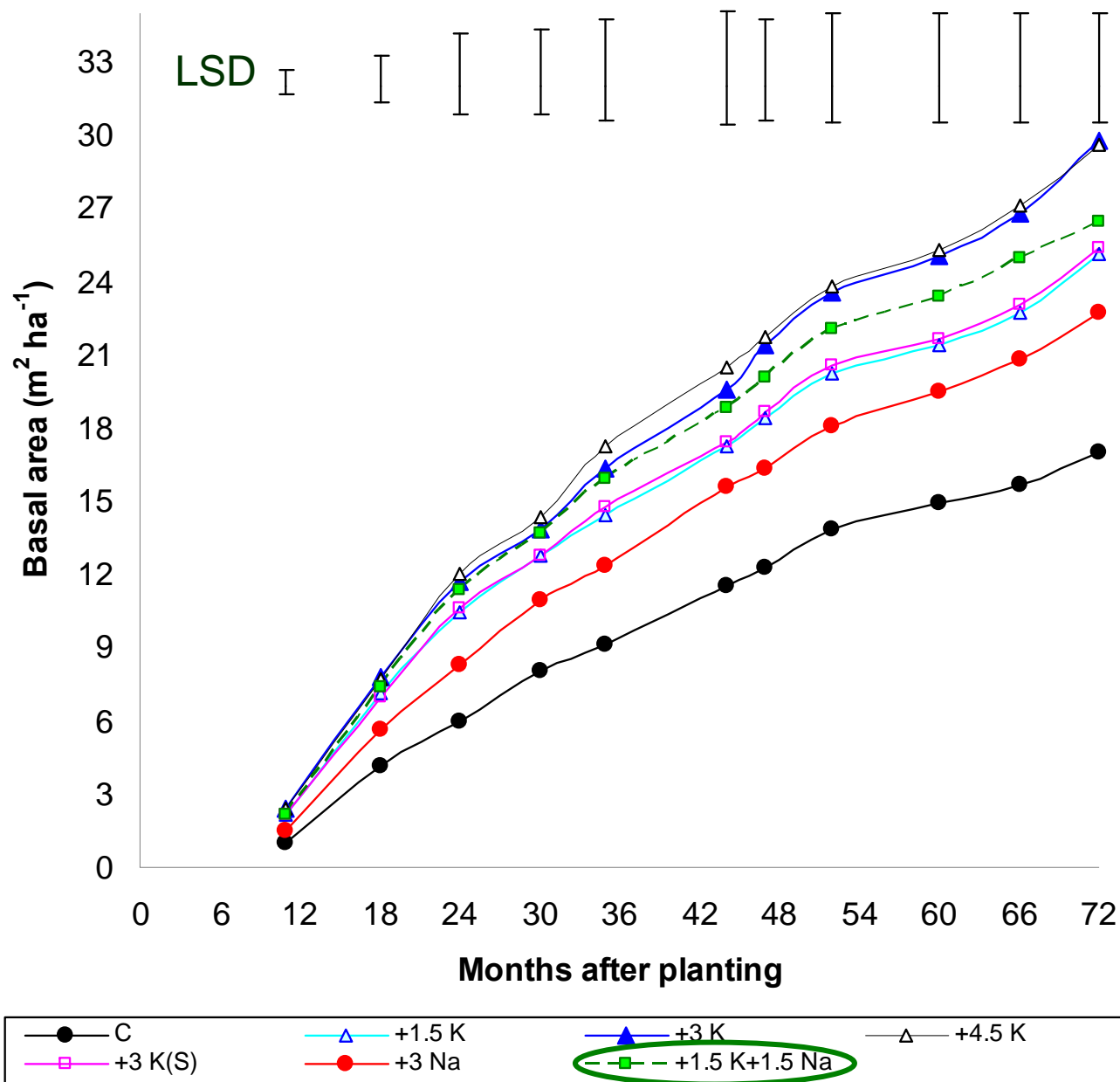
# Resultados

## 1. Crescimento e alocação de carbono

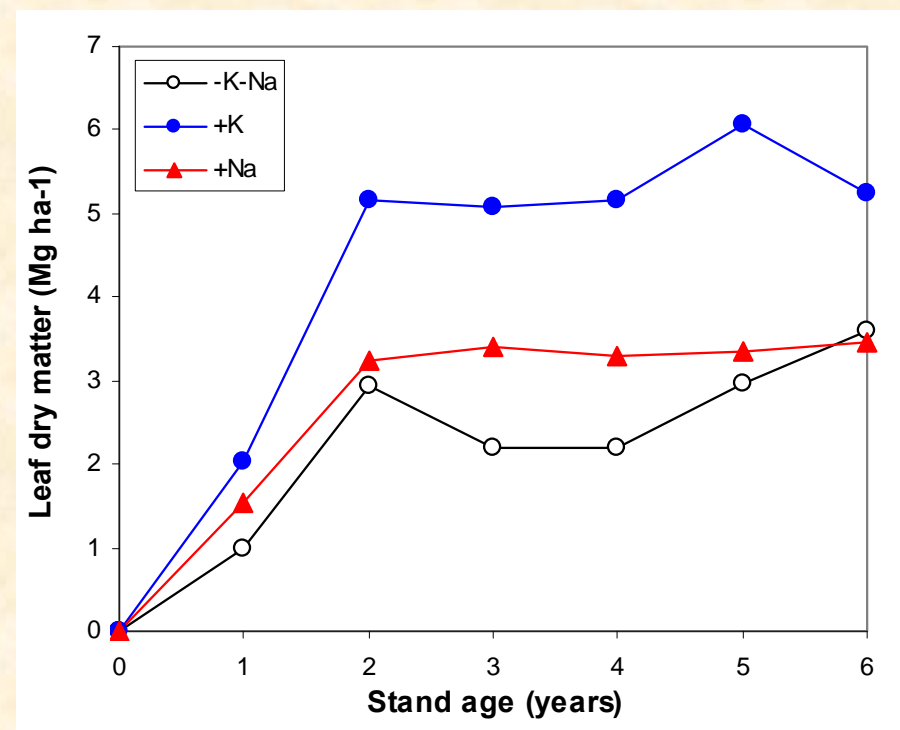
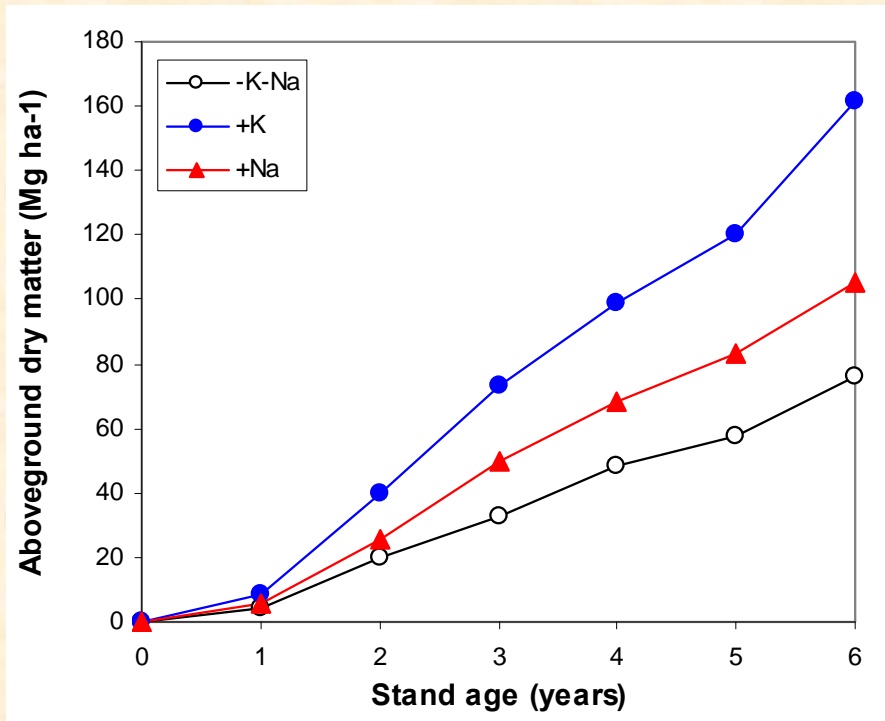
# Altura



# Area basal



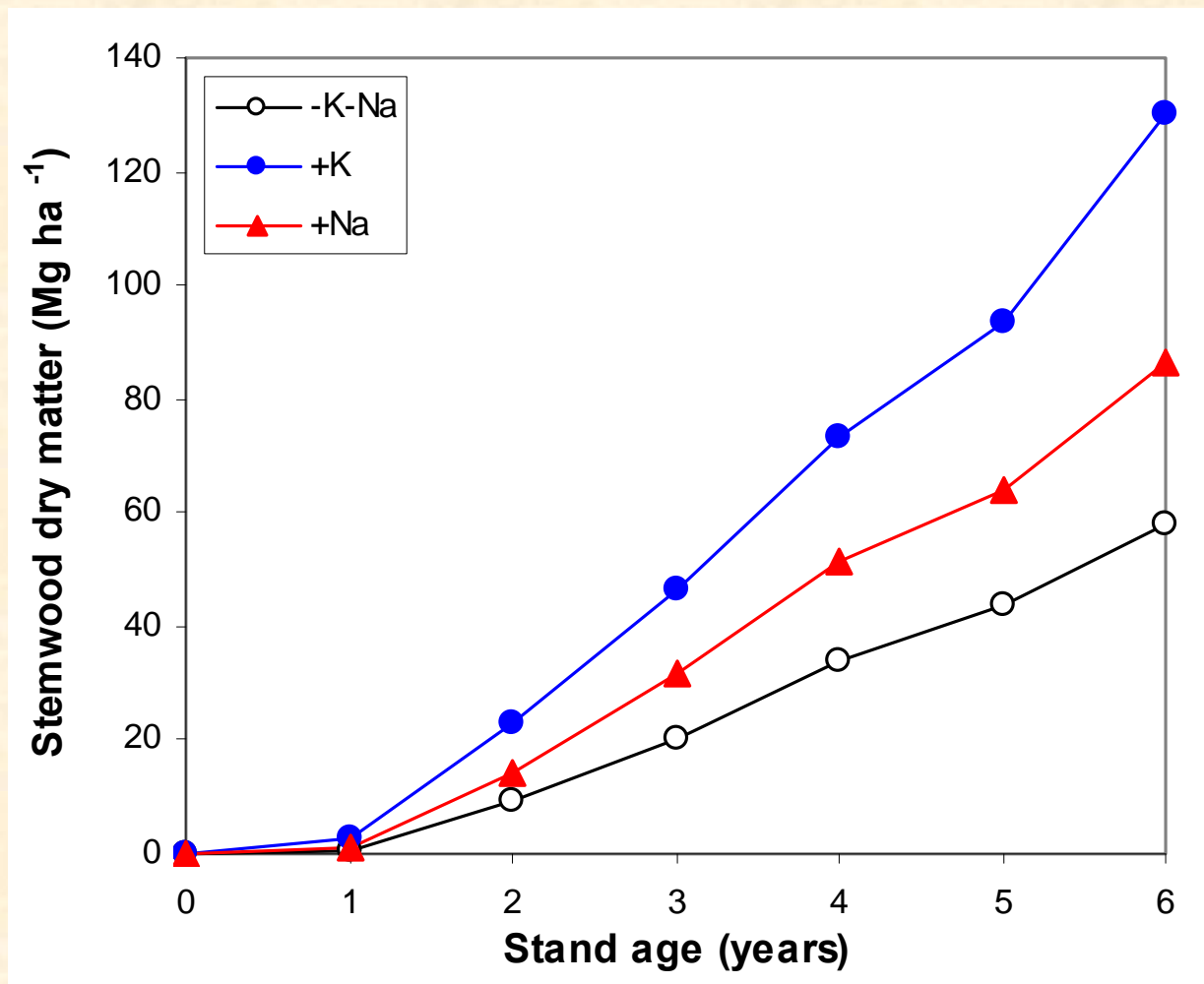
# Dinâmica de acúmulo de biomassa



+ 20 t / ha de biomassa aérea com aplicação de NaCl;  
+ 80 t / ha de biomassa aérea com aplicação de KCl.



# Dinâmica de acúmulo de biomassa

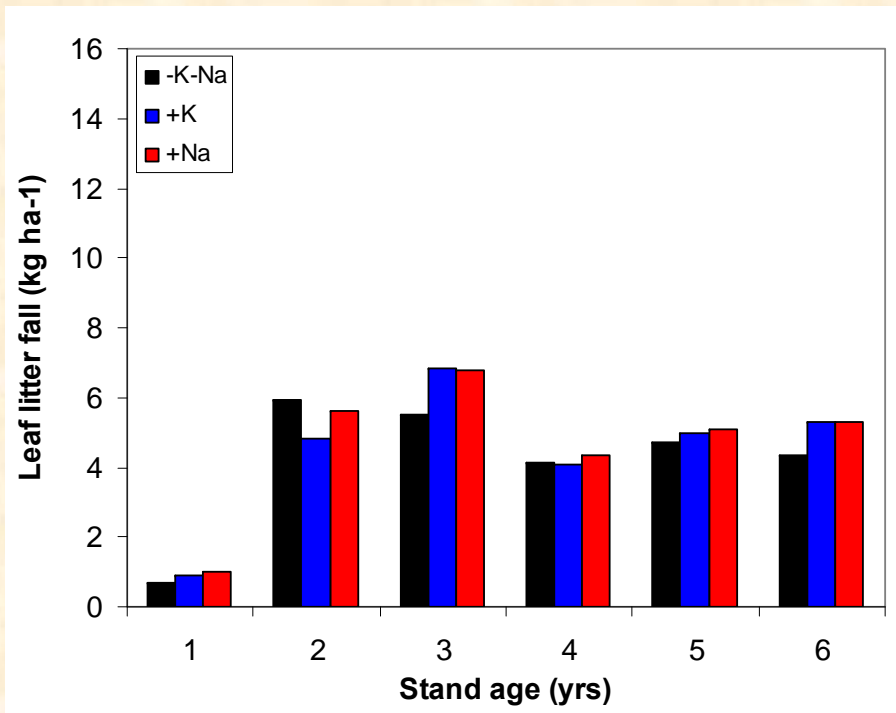


**Na idade de 6 anos:**

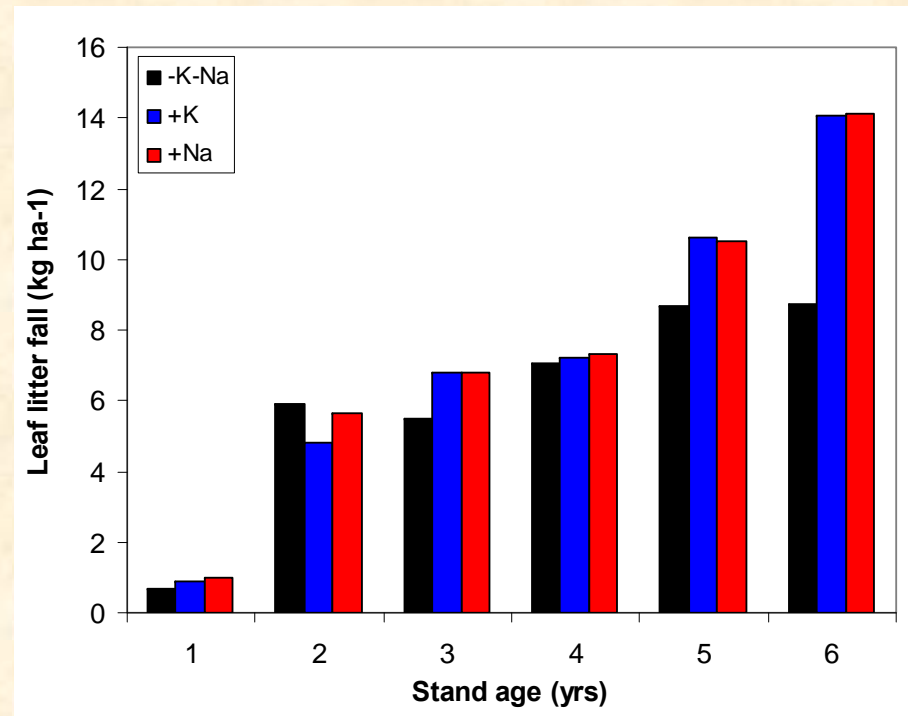
- Biomassa de madeira x 1,5 com aplicação de NaCl;
- Biomassa de madeira x 2,2 com aplicação de KCl.

# Deposição de serapilheira

## Folheto



## Serapilheira total

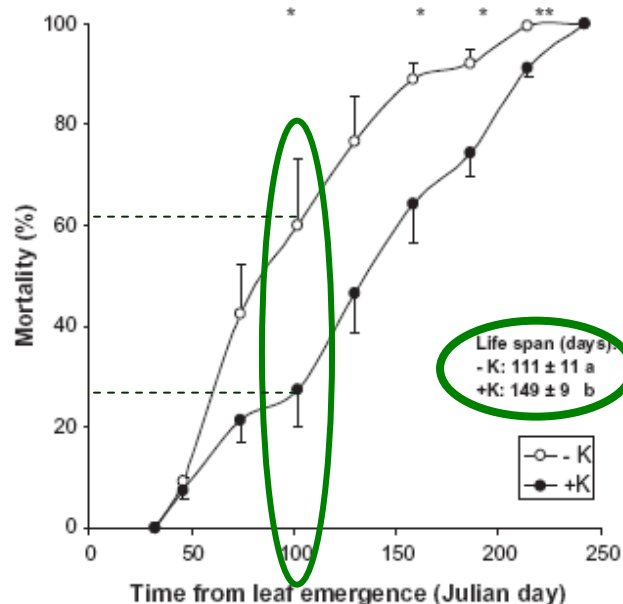


- Mesma deposição de folheto nos 3 tratamentos;
- Uma deposição de galhos + casca menor sem aplicação de K ou Na.

# Prazo de vida das folhas



Folhas marcadas em árvores de 1 ano



Tree Physiology 29, 111–124  
 doi:10.1093/treephys/tpn010

## Influence of nitrogen and potassium fertilization on leaf lifespan and allocation of above-ground growth in *Eucalyptus* plantations

JEAN-PAUL LACLAU,<sup>1,2,3</sup> JULIO C.R. ALMEIDA,<sup>2,5</sup>  
 JOSÉ LEONARDO M. GONÇALVES,<sup>2</sup> LAURENT SAINT-ANDRÉ,<sup>1</sup>  
 MARCELO VENTURA,<sup>2</sup> JACQUES RANGER,<sup>4</sup> RILDO M. MOREIRA<sup>2</sup>  
 and YANN NOUVELLON<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> CIRAD, Peristyl, UPR80, TA10/D, 34098 Montpellier Cedex 5, France

<sup>2</sup> USP, Esalq, Departamento de Ciências Florestais, Av. Pádua Dias, 11, Piracicaba, SP 13418-900, Brazil

<sup>3</sup> Corresponding author (laclau@cirad.fr)

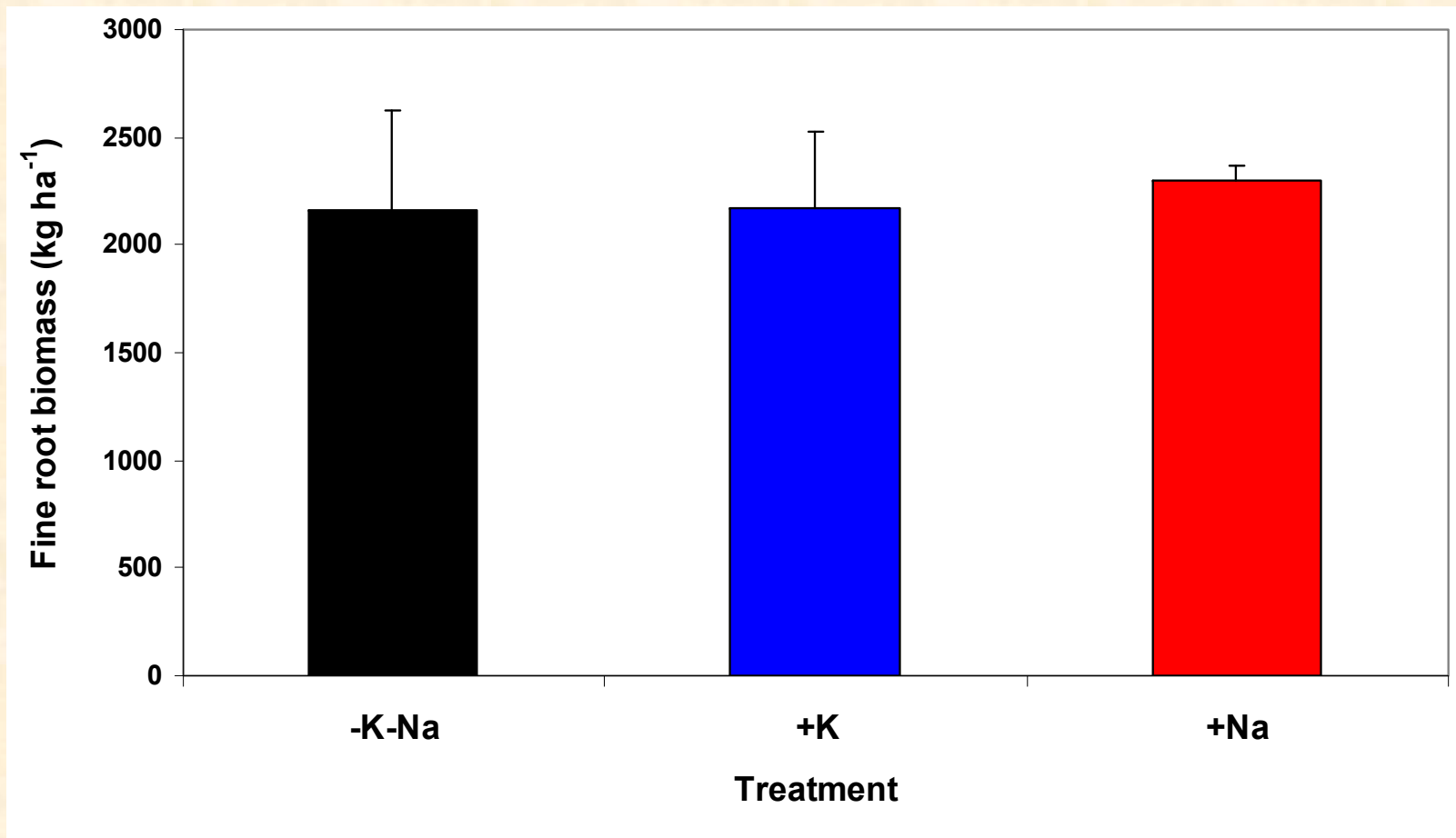
<sup>4</sup> INRA, Biogéochimie des écosystèmes forestiers, 54280 Champenoux, France

<sup>5</sup> UNITAU, Rua 4 de maio, n. 432, Taubaté, SP 12020-70, Brazil

Received May 30, 2008; accepted September 15, 2008; published online December 5, 2008

	Age (yrs)				
	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6
<b>-K-Na</b>					
Mean leaf biomass	1.7	2.2	1.9	2.2	2.8
Leaf litter fall	5.9	5.5	4.2	4.7	5.3
Leaf production	7.9	4.8	4.2	5.5	6.0
<b>Mean leaf lifespan (yr)</b>	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>0.4</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>
<b>+K</b>					
Mean leaf biomass	3.1	4.4	4.4	4.8	4.8
Leaf litter fall	5.2	6.5	4.1	5.2	5.6
Leaf production	8.4	6.4	4.1	6.1	4.7
<b>Mean leaf lifespan (yr)</b>	<b>0.4</b>	<b>0.7</b>	<b>1.1</b>	<b>0.8</b>	<b>1.0</b>
<b>+Na</b>					
Mean leaf biomass	2.0	2.8	2.8	2.8	2.9
Leaf litter fall	5.9	6.4	4.5	5.2	5.2
Leaf production	7.6	6.6	4.4	5.2	5.3
<b>Mean leaf lifespan (yr)</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.5</b>	<b>0.5</b>

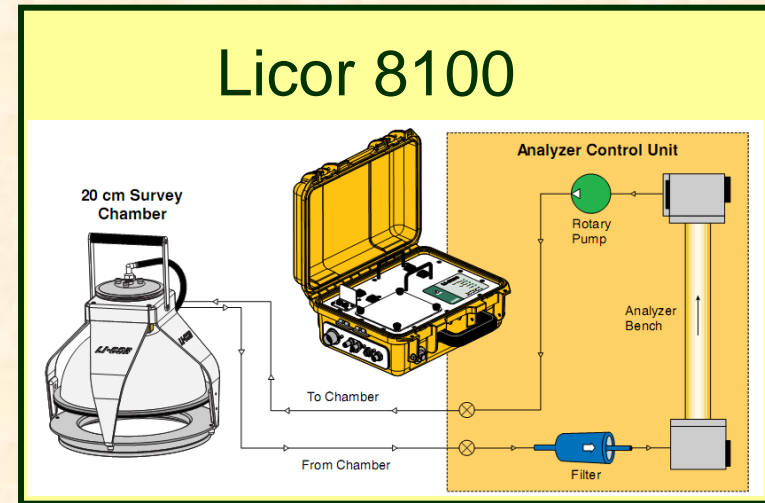
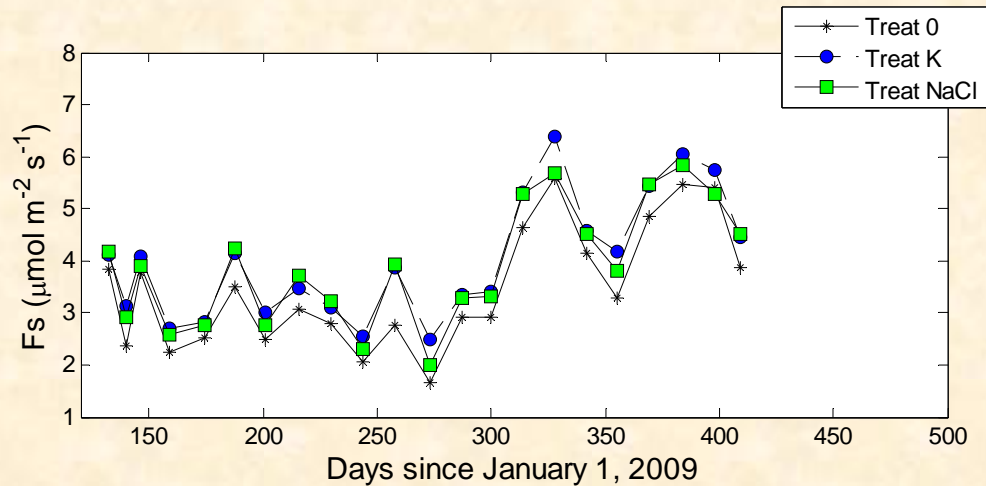
# Alocação de carbono no solo



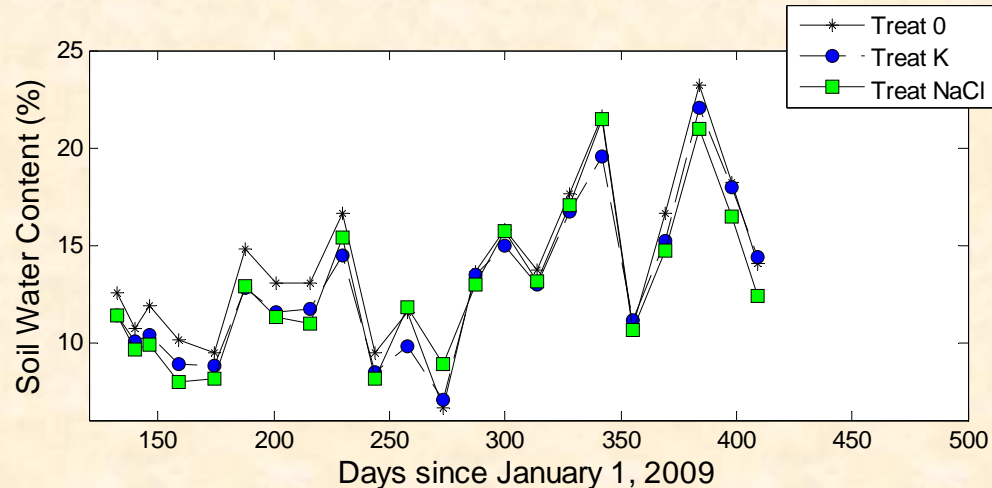
**Mesma biomassa de raízes finas na idade de 5 anos nos 3 tratamentos**

# Alocação de carbono no solo

## Emissão de CO<sub>2</sub> na superfície do solo



## Umidade do sol



**Uma alocação de C no solo  
similar nos tratamentos com  
aplicação de KCl e NaCl**



# Conclusão parcial

- **Produções de folhas e de raízes finas pouco afetadas** pela aplicação de KCl ou NaCl;
- Biomassa de folhas (e LAI) x 2 com aplicação de KCl devido a um **prazo de vida das folhas** maior (não é o caso com NaCl);
- Produção de **biomassa de lenho x 1,5** com aplicação de NaCl e **2,2 com KCl**

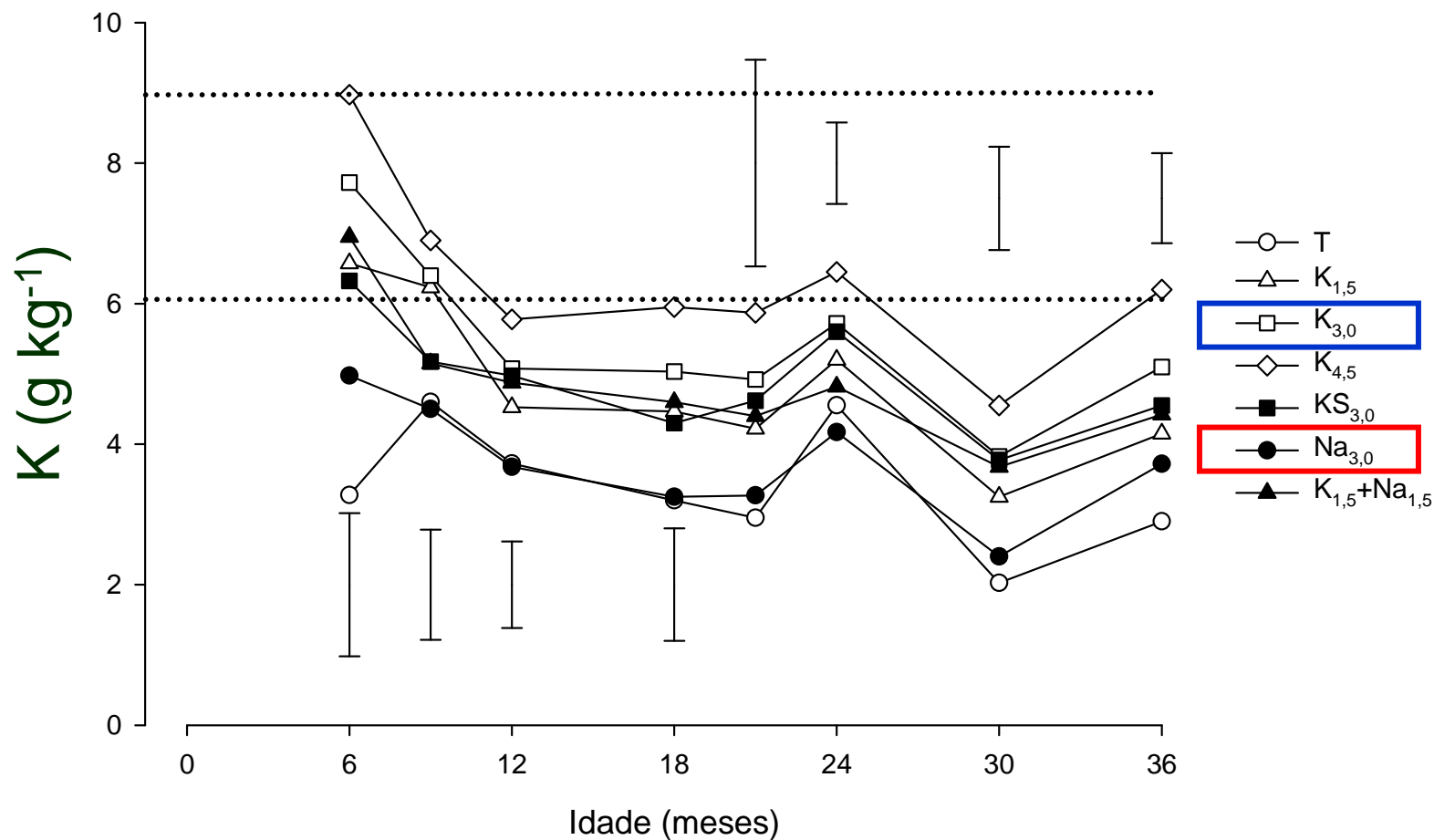


**Matéria seca usada em prioridade para produzir folhas e raízes. A biomassa do tronco >> depende do ambiente.**

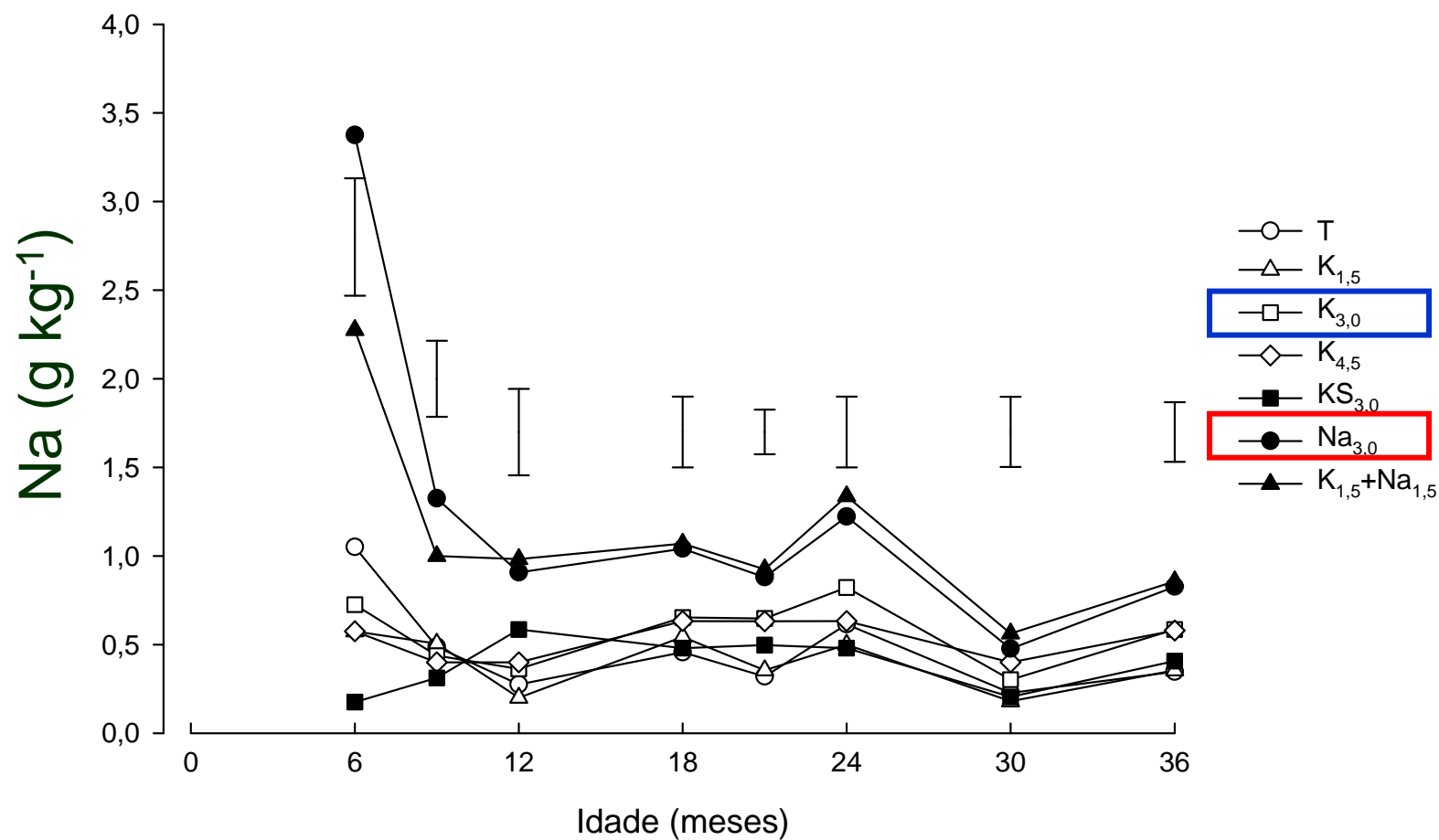
# Resultados

1. Crescimento e alocação de carbono
2. Estado nutricional

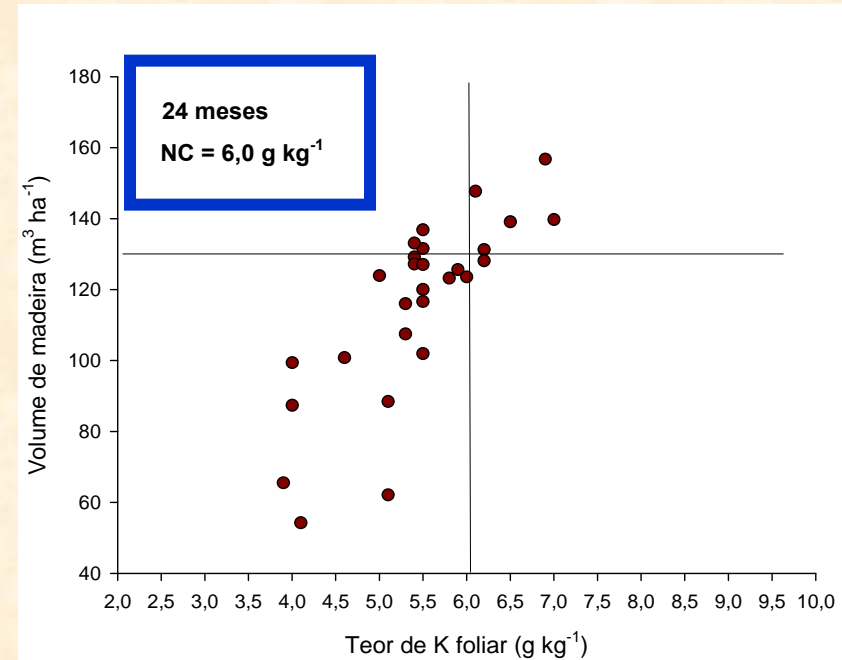
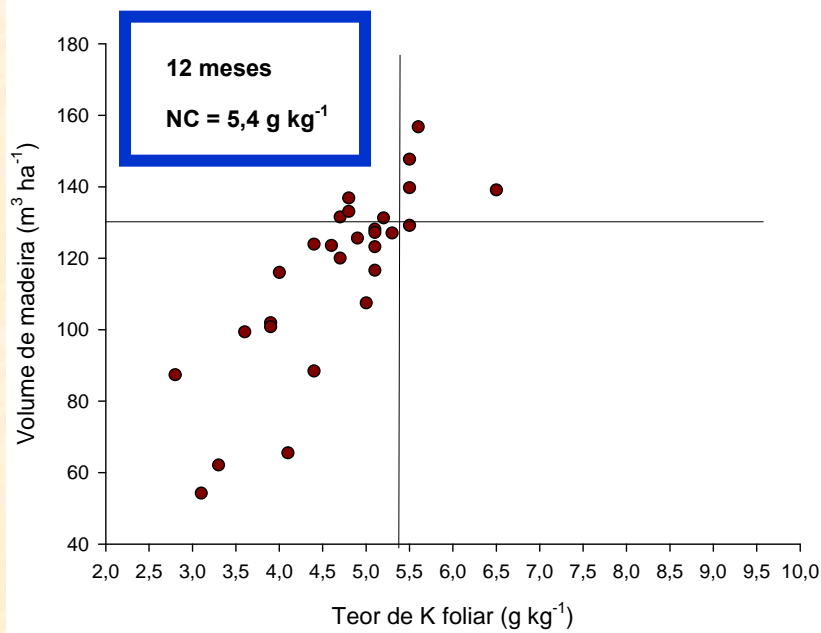
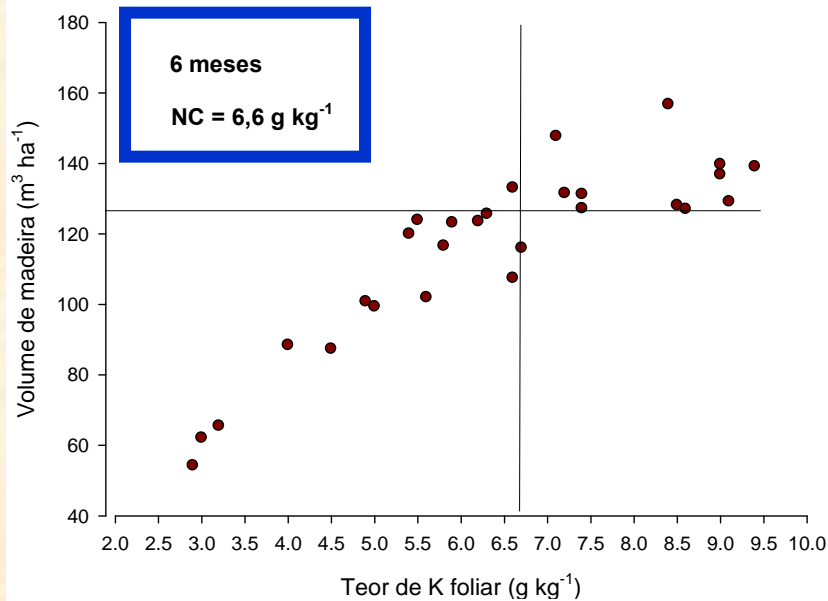
# Estado Nutricional

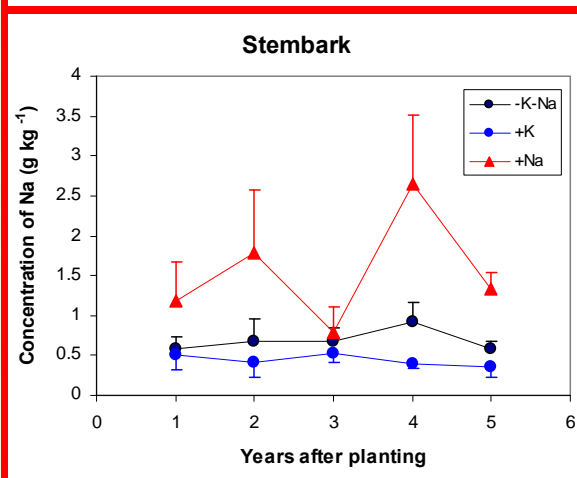
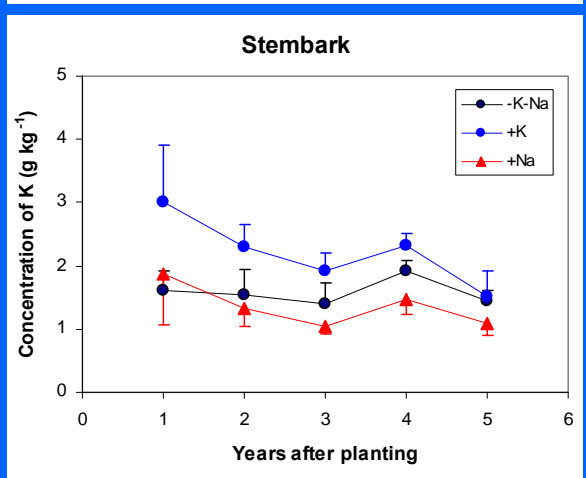
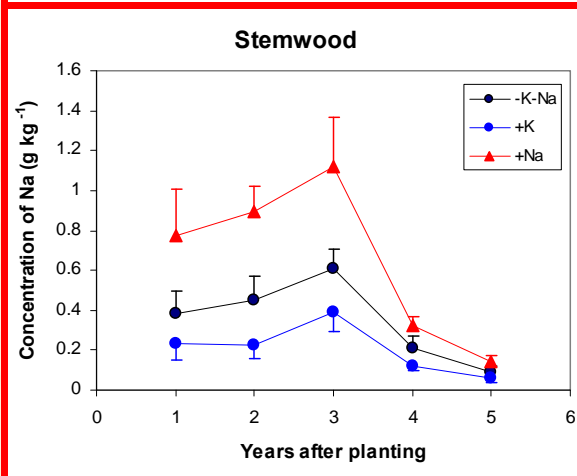
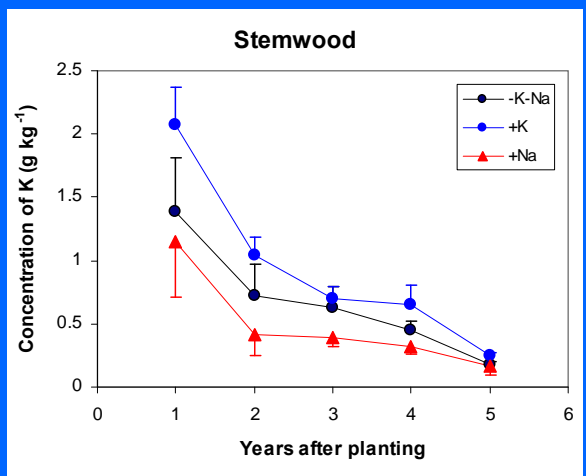
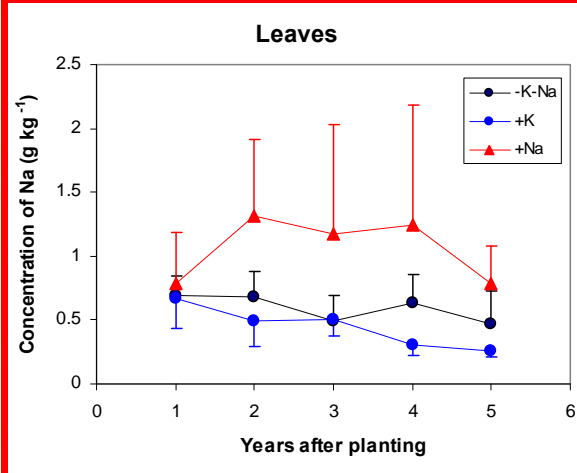
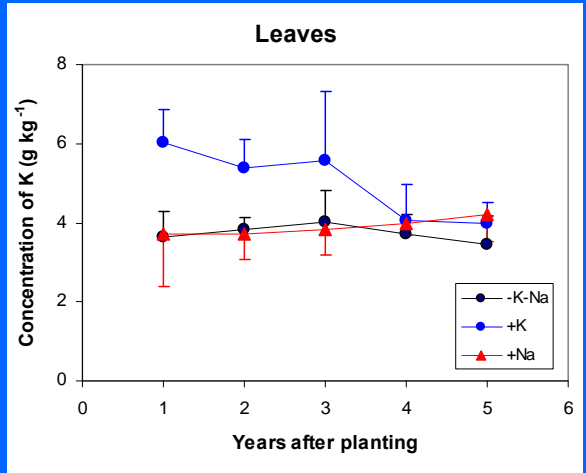


# Estado Nutricional



# Nível crítico



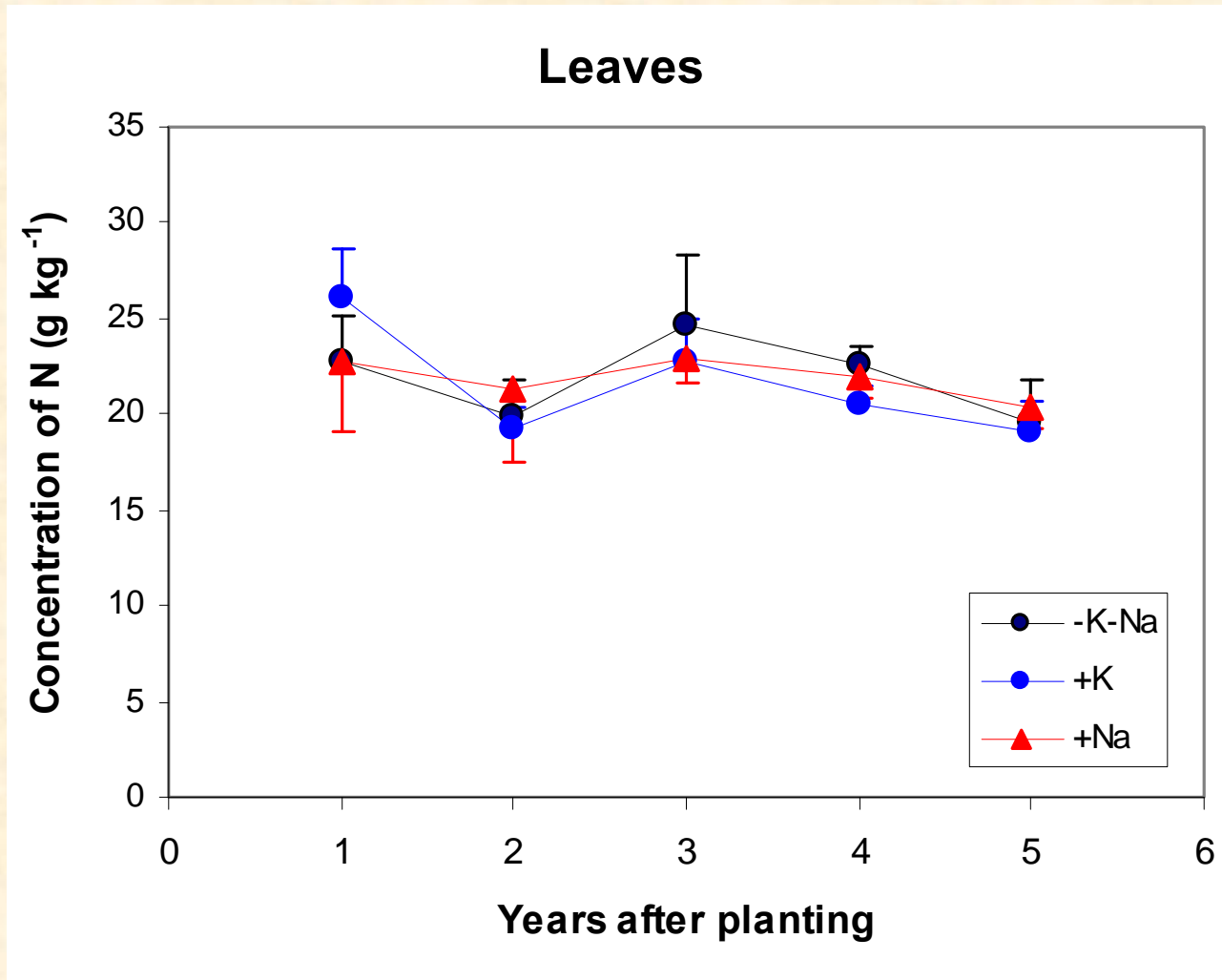


• Uma diminuição importante nas concentrações o quinto ano de crescimento.

• Um acúmulo de Na no lenho e na casca provavelmente envolvido na ausência de toxicidade.



# Efeito da aplicação de K / Na sobre as capacidades fotossintéticas das folhas?



## Conclusão parcial

- A aplicação de NaCl não modificou as concentrações foliares de K: **não tem uma resposta indireta devida a um aumento da disponibilidade de K com aplicação de KCl;**
- Redução forte da produtividade com concentrações foliares de K < 6-7 g kg<sup>-1</sup>;
- O mesmo comportamento de K e Na nos tecidos: as concentrações aumentam com a disponibilidade.

# Resultados

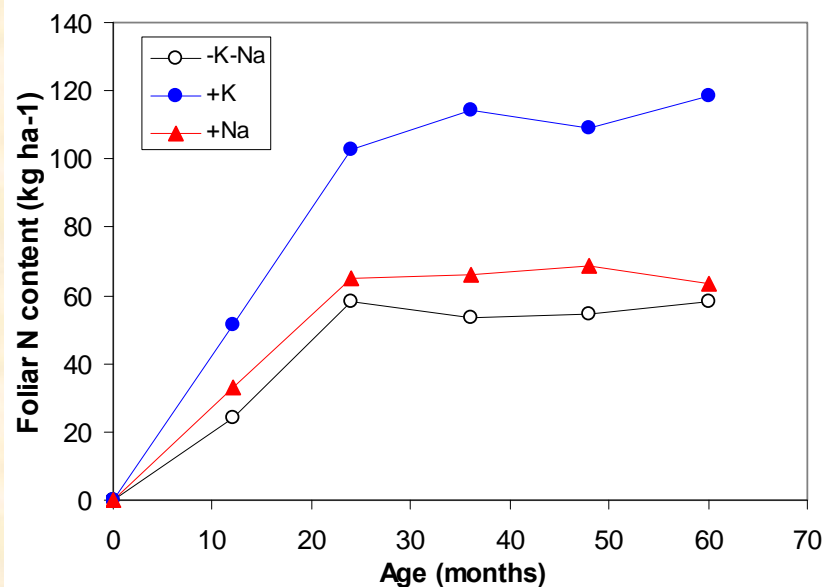
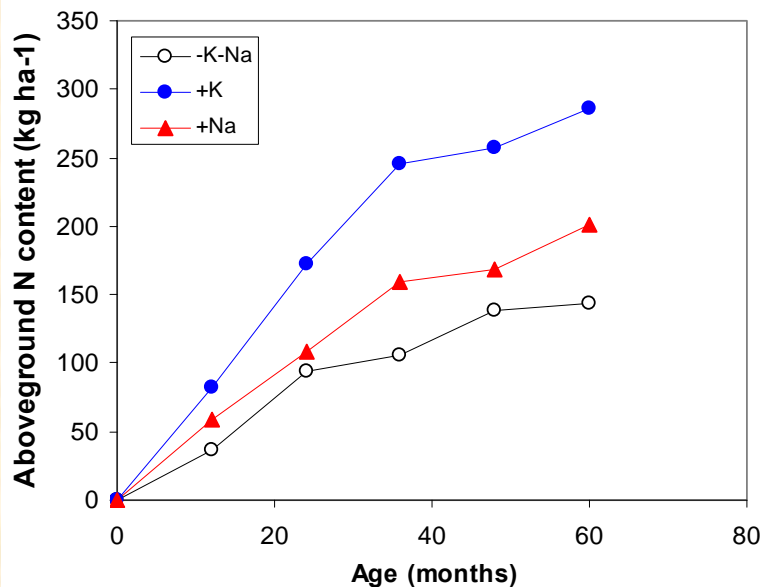
1. Crescimento e alocação de carbono
2. Estado nutricional
3. Acúmulo e eficiência de uso de nutrientes

# Acumulo de nutrientes nas árvores

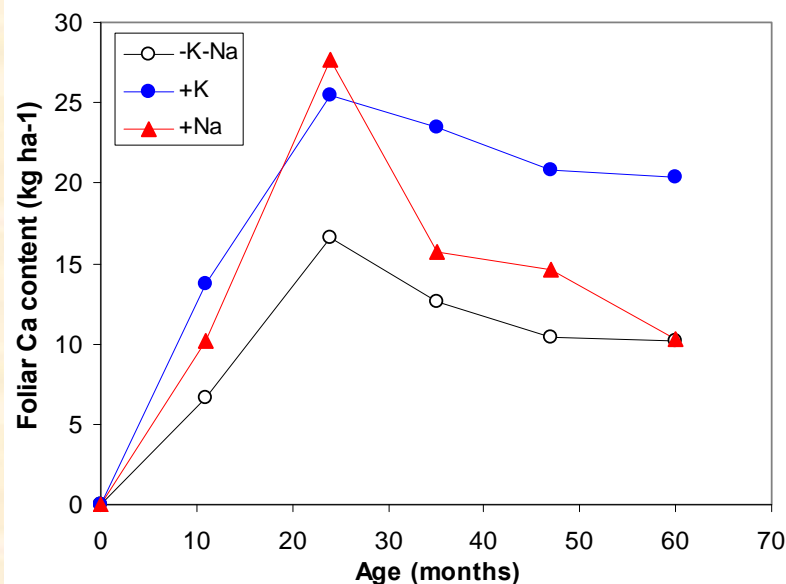
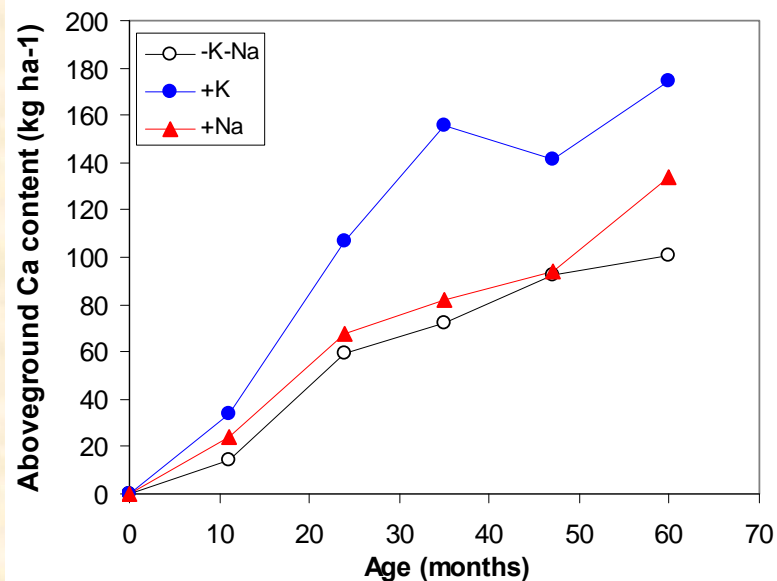
## Parte aérea

## Folhas

N



Ca



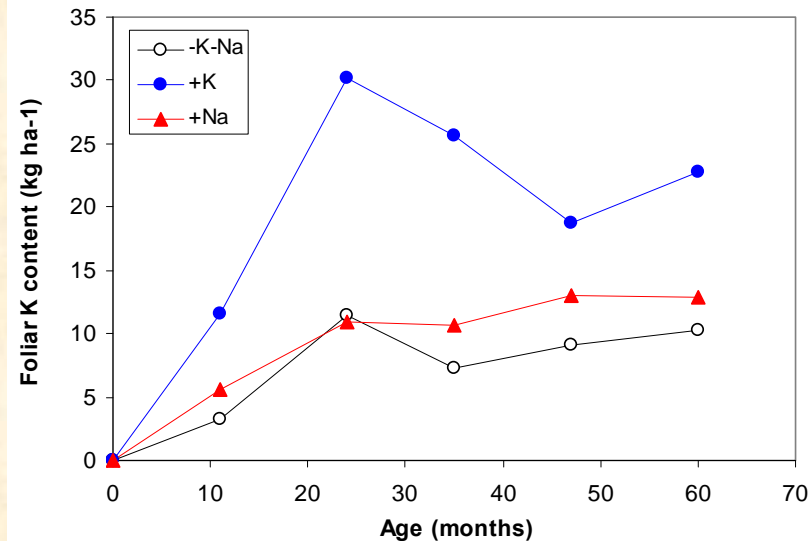
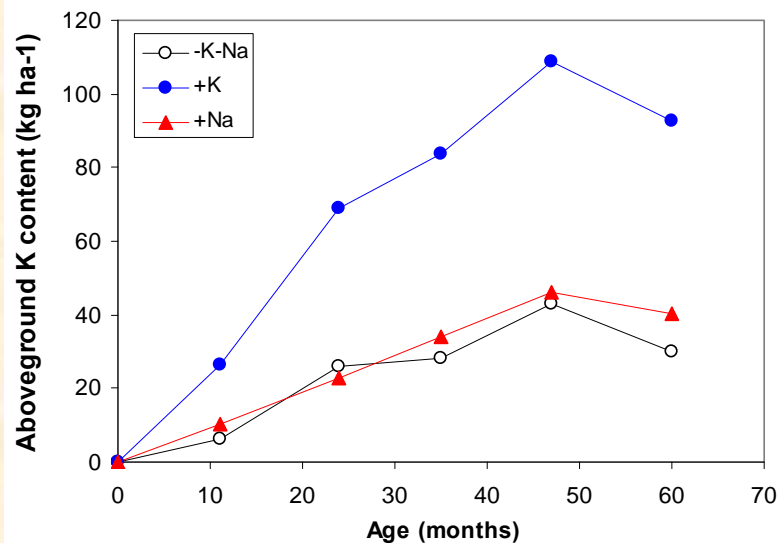


# Acumulo de nutrientes nas árvores

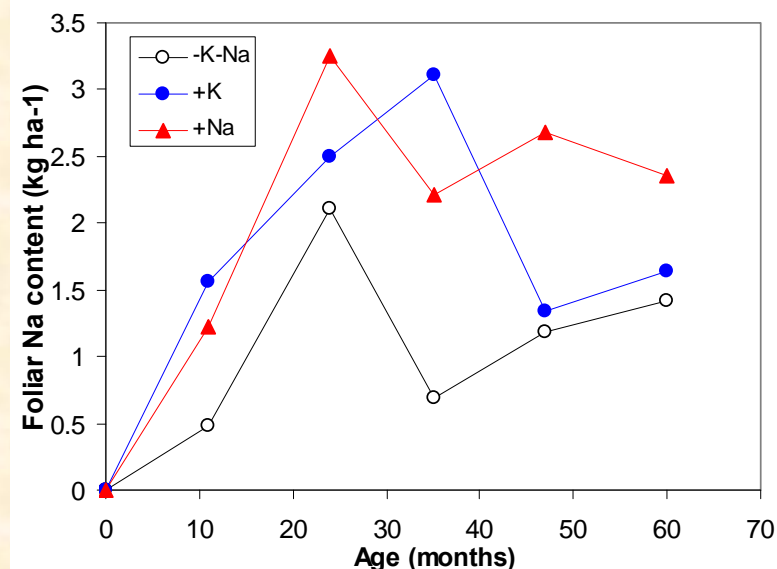
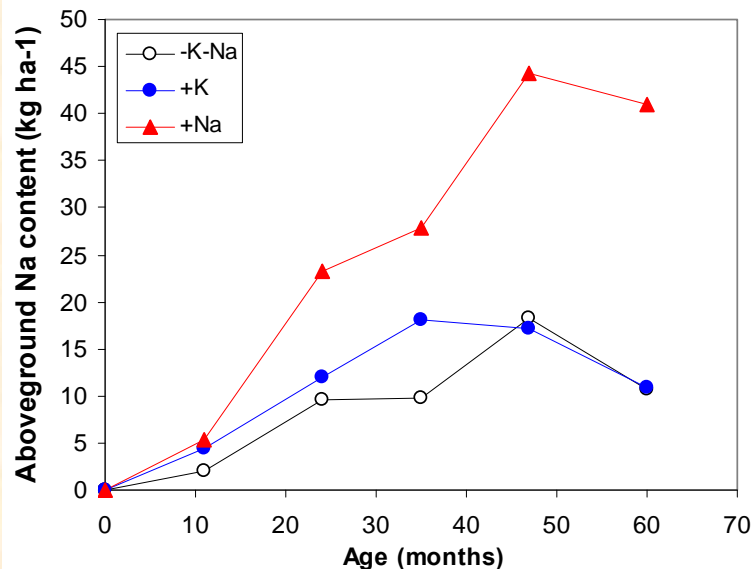
## Parte aérea

## Folhas

K



Na

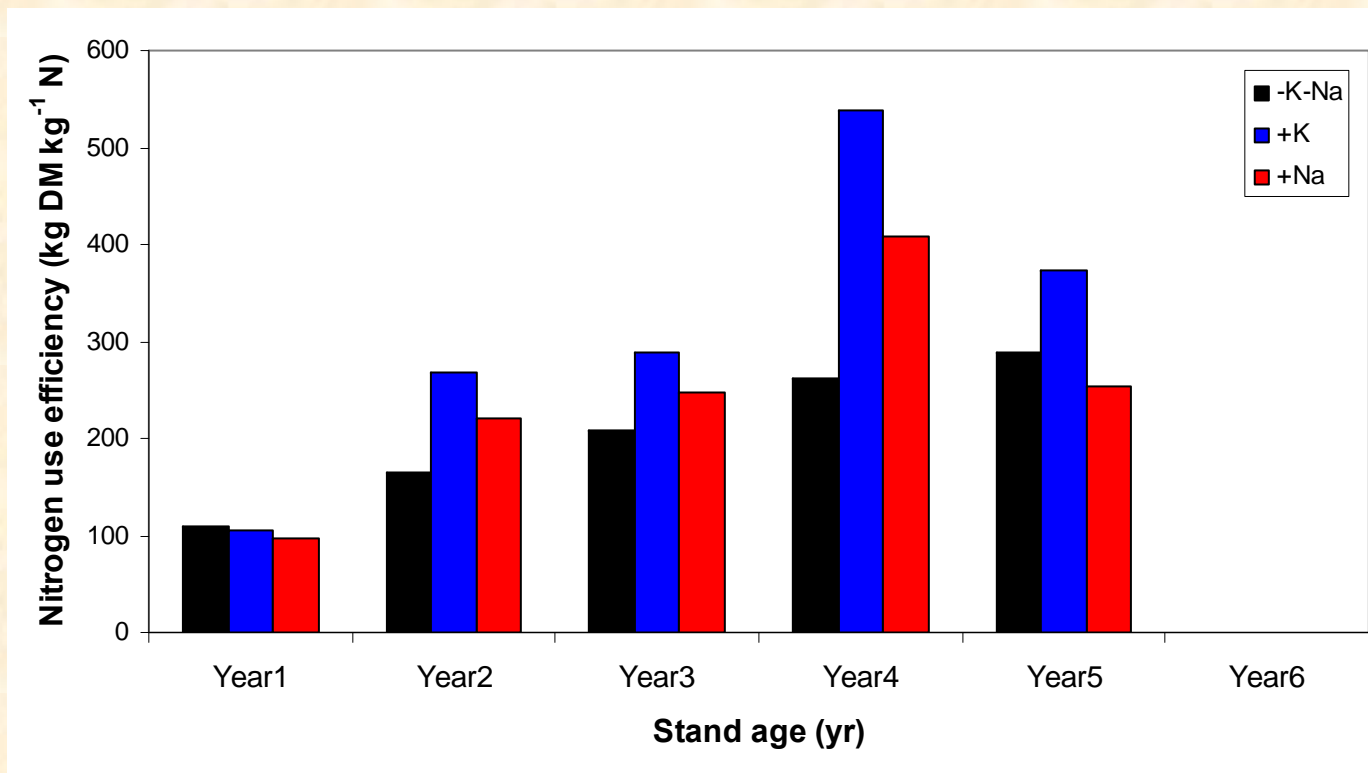


# Eficiência de uso dos nutrientes

Aqui um index avaliado como:

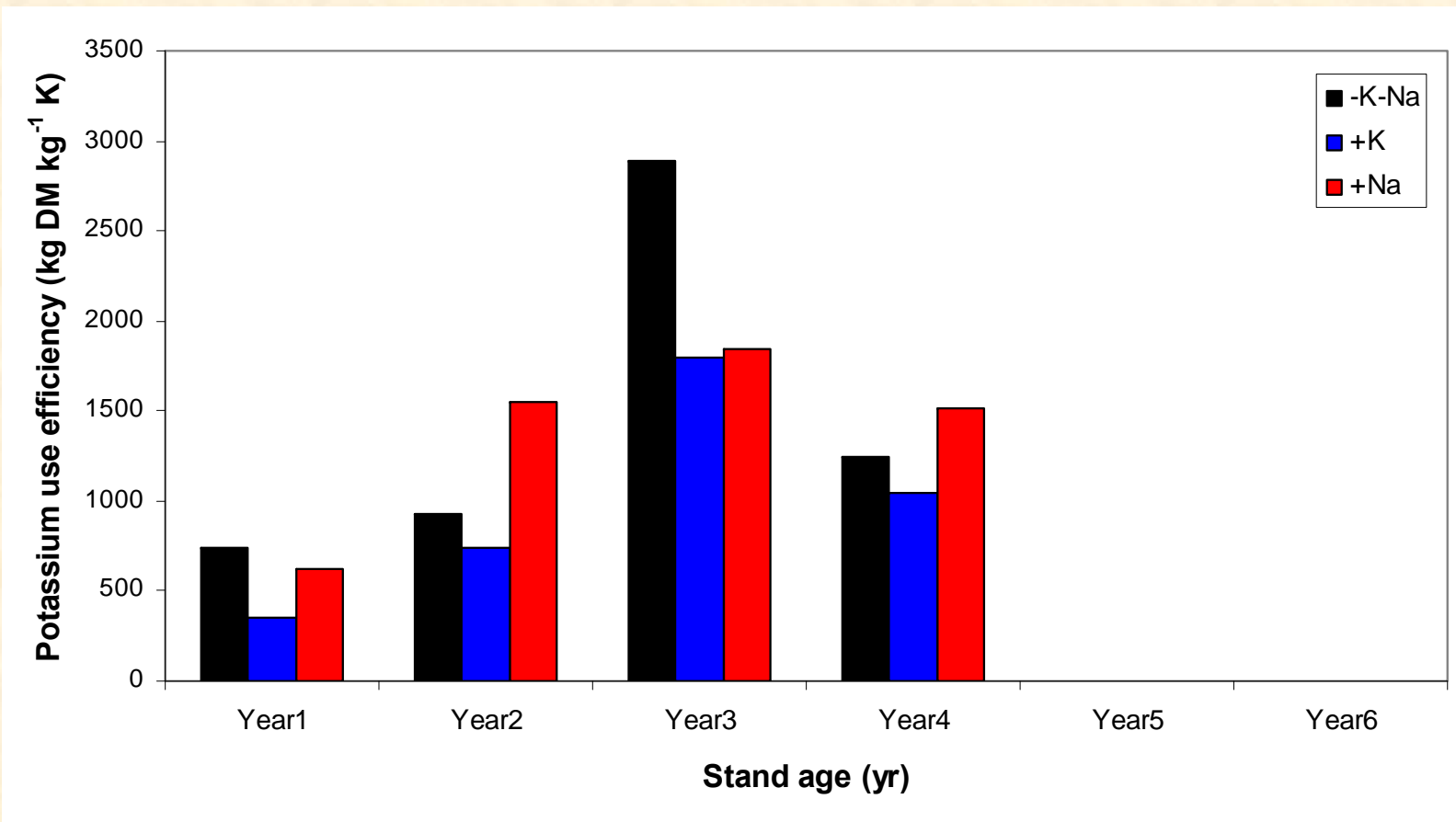
$$\text{NUE} = \text{ANPP} / \text{Absorção de nutrientes no solo}$$

## Nitrogen



# Eficiência de uso dos nutrientes

## Potassium



## Conclusão parcial

- Um acúmulo importante de nutrientes nas árvores, em particular durante os 2 primeiros anos;
- Uma dinâmica de acumulação similar para o K e o Na (mesma quantidade dos 3 elementos no tratamento +Na);
- Não tem um efeito muito claro da adubação sobre a eficiência de uso dos nutrientes (exceto N).

# Resultados

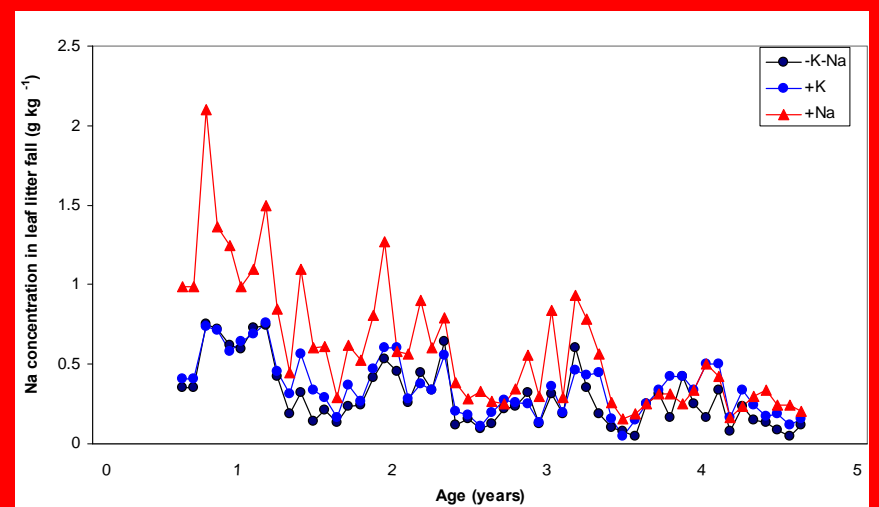
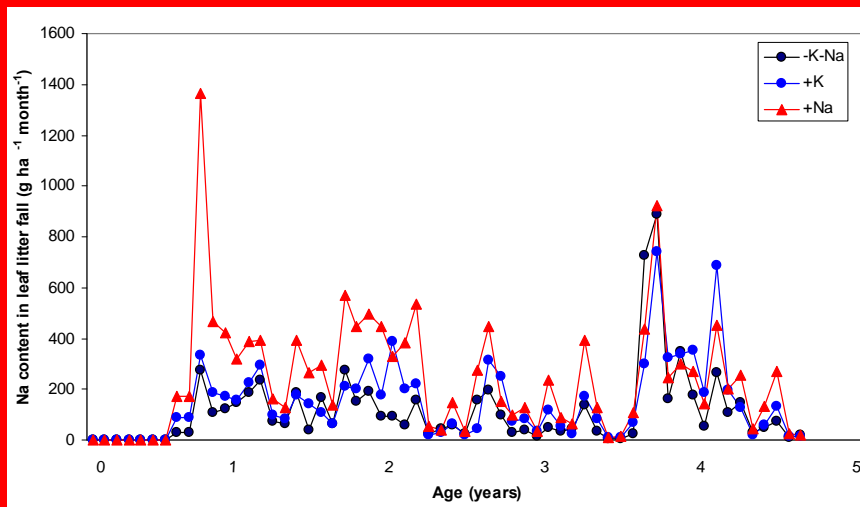
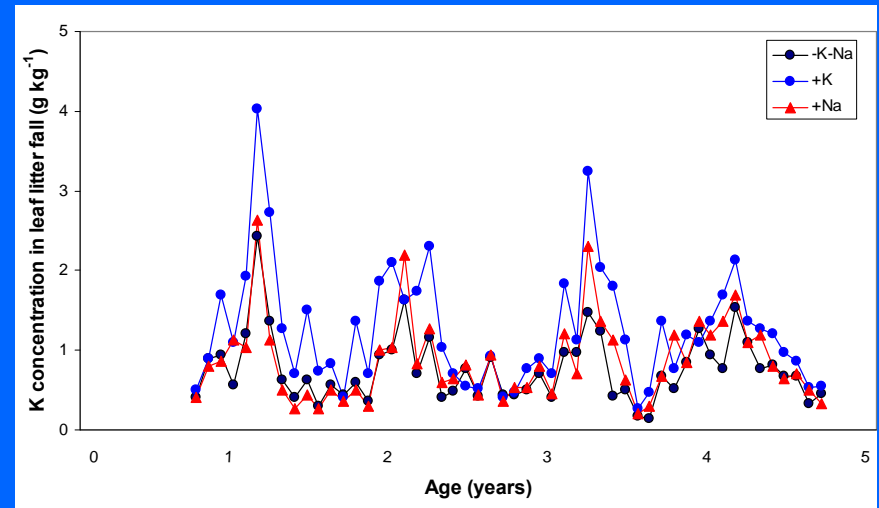
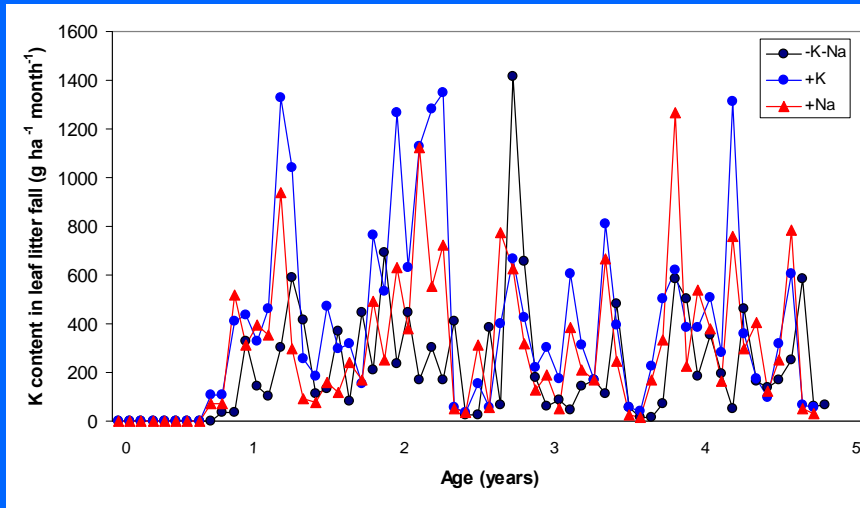
1. Crescimento e alocação de carbono
2. Estado nutricional
3. Acúmulo e eficiência de uso de nutrientes
4. Retranslocações internas e lixiviação foliar



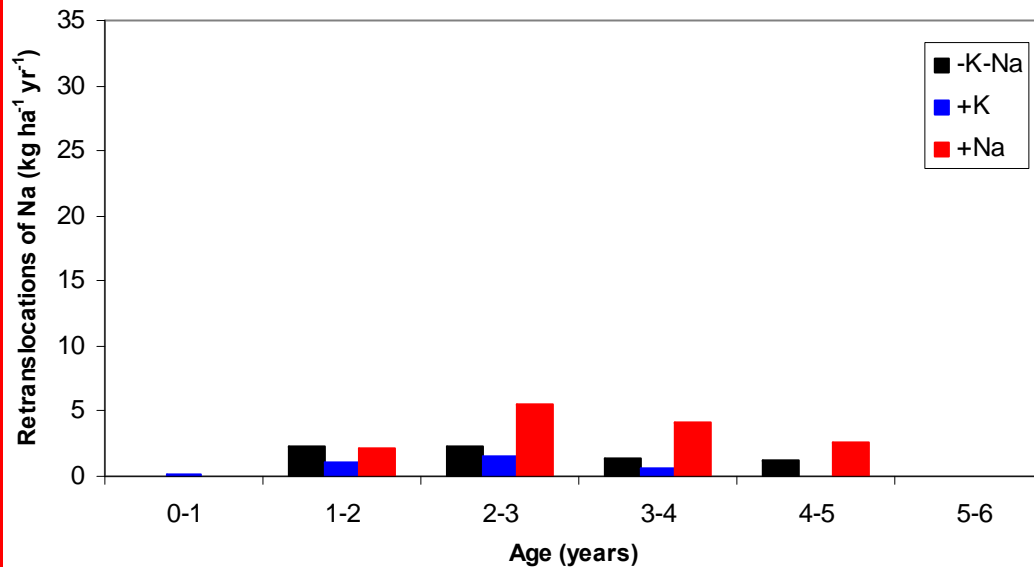
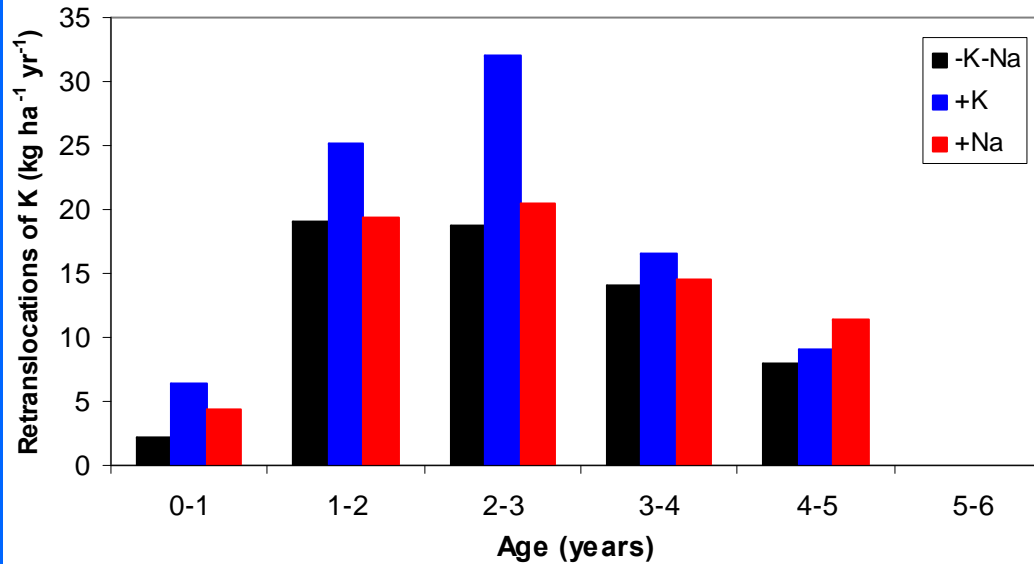
# Concentrações em K e Na no folheto

Retorno para o solo


Concentração em K / Na

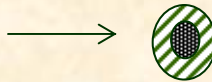


# Retranslocações em K e Na nas folhas



# Retranslocações de nutrientes no lenho

 Cross-sectional area of the ring formed during the fourth year at height 15 m



21 m

18 m

15 m

12 m

9 m

6 m

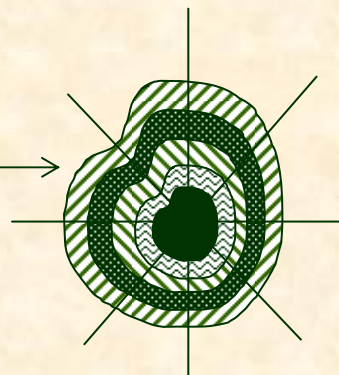
3 m

0 m



Annual rings were determined from:

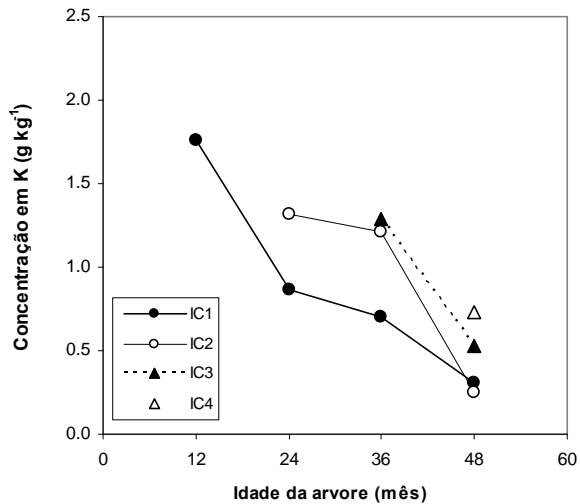
- \* the radius under-bark of the stem predicted by the taper functions at each age,
- \* and the position of « false-rings » on the disk.



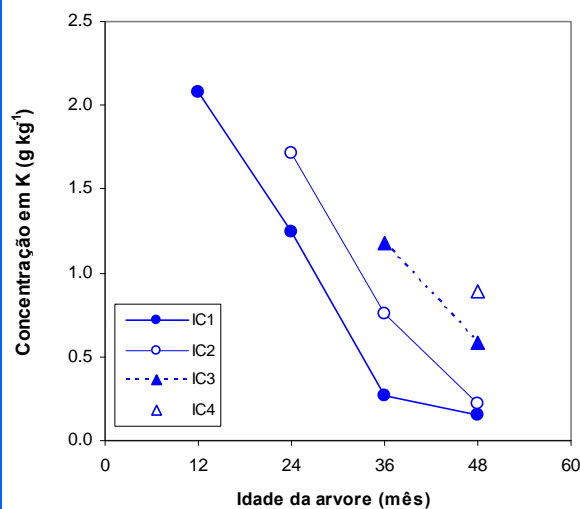
Sampling in a 4-year-old tree

# Concentrações em K e Na na madeira

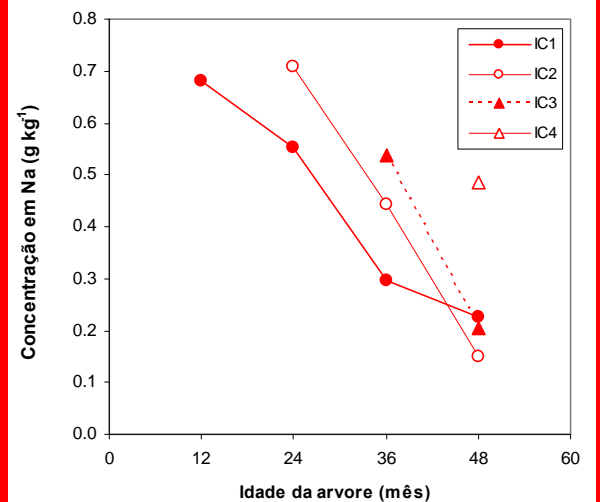
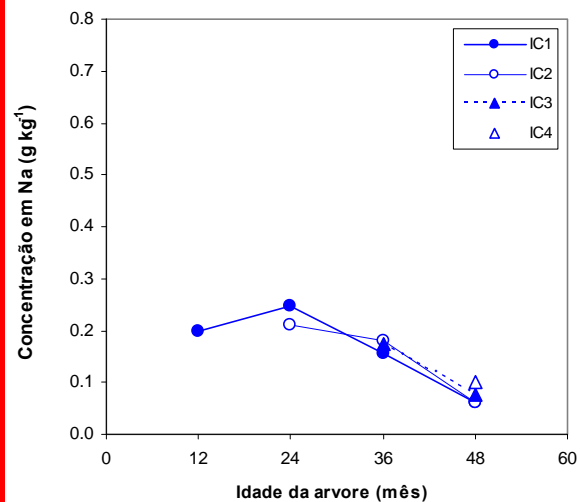
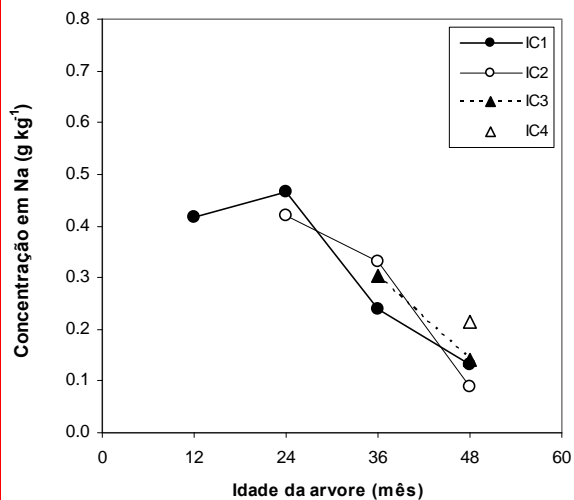
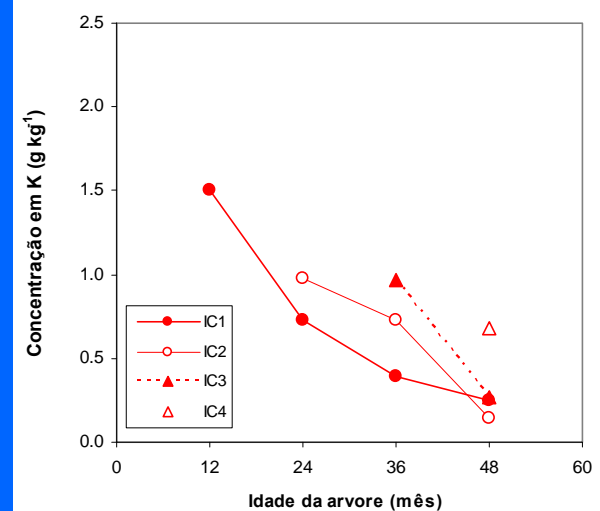
-K-Na



+K



+Na

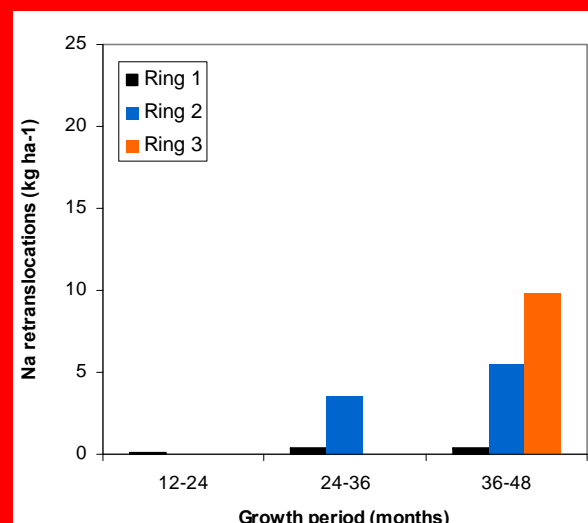
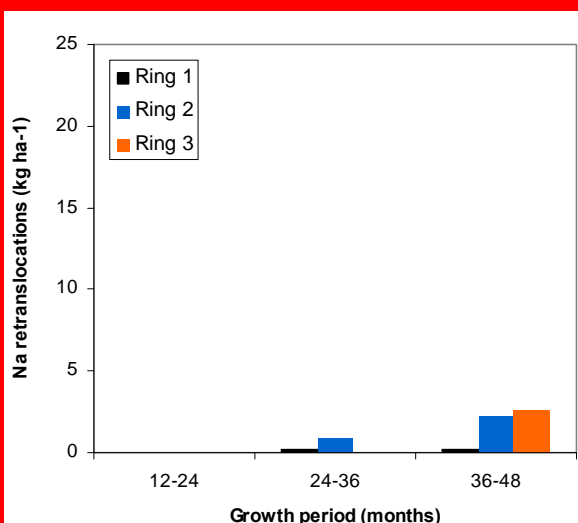
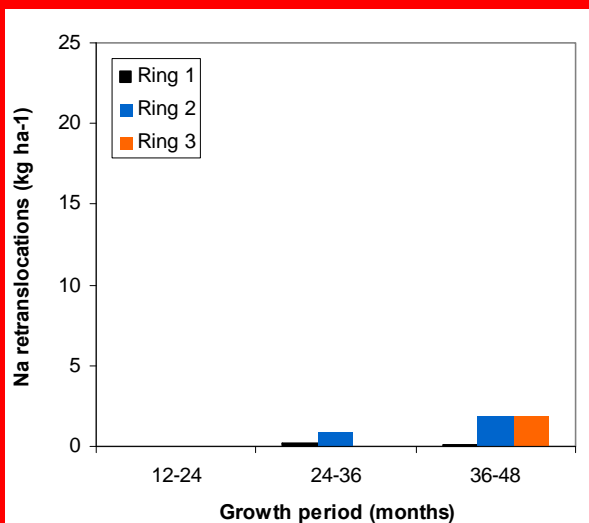
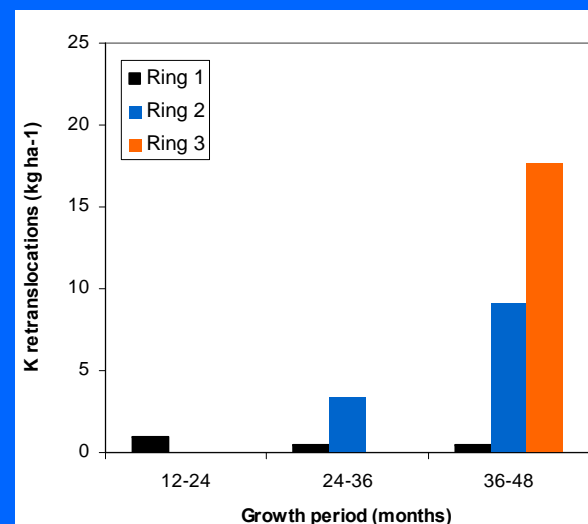
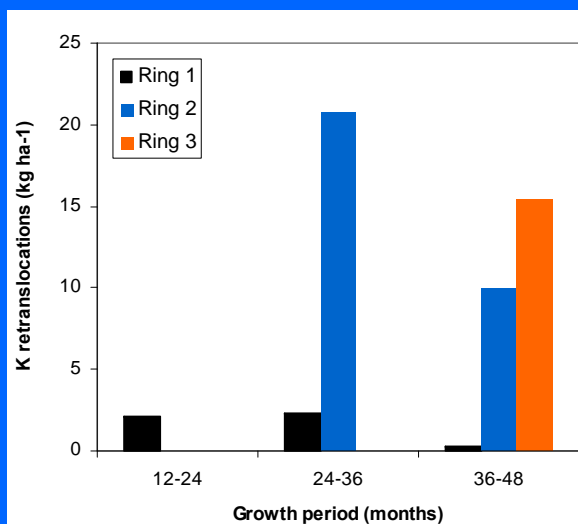
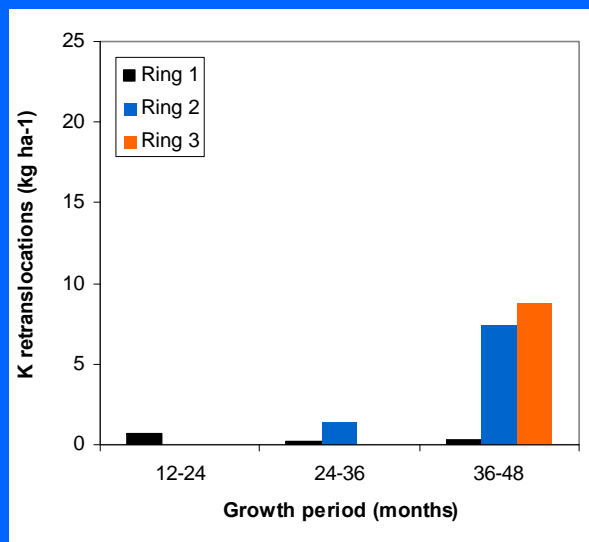


# Retranslocações de K e Na na madeira

-K-Na

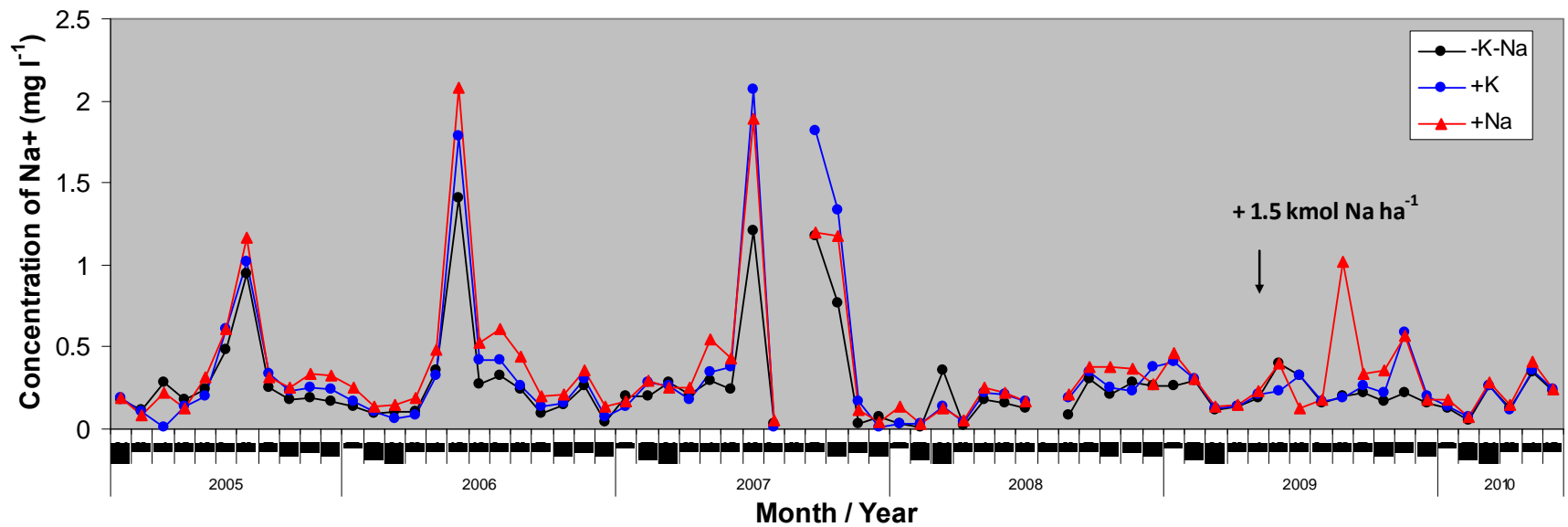
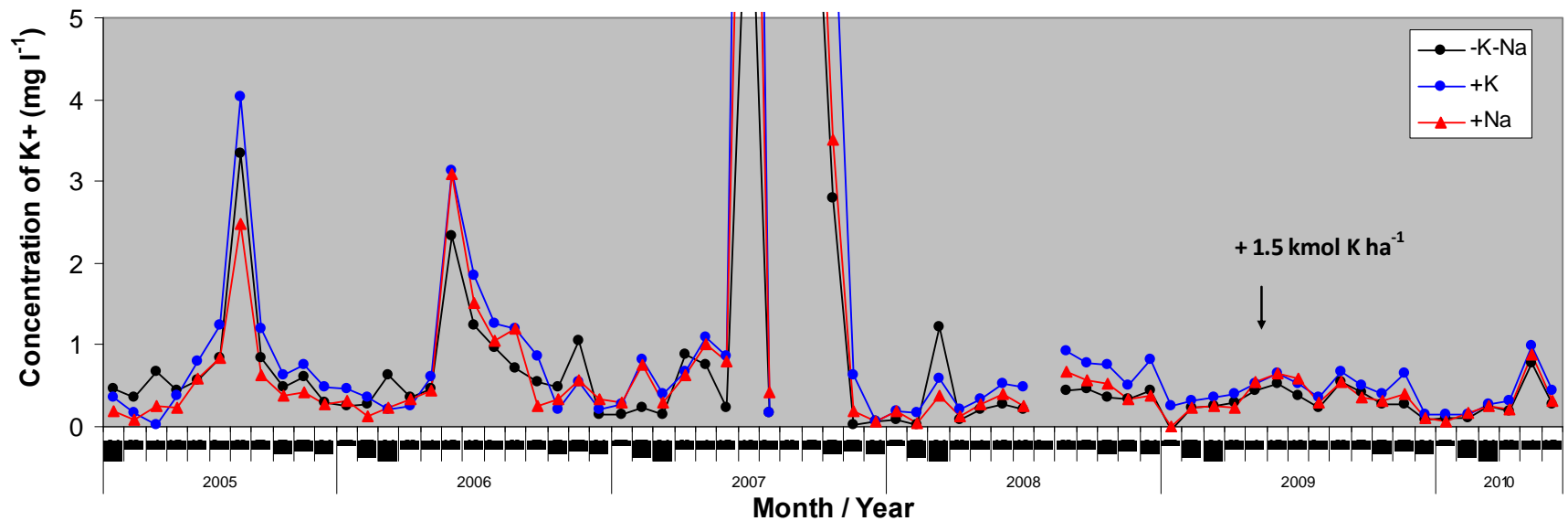
+K

+Na





# Lixiviação foliar de K e Na



# Conclusão parcial

- Um comportamento similar do K e do Na:  
as retranslocações nas folhas e no lenho aumentam com a disponibilidade;
- Retranslocações de K e Na fortes na madeira:
  - entre 3 e 4 anos:  $\approx 25 \text{ kg K ha}^{-1}$  (tratamento +K);
  - entre 3 e 4 anos:  $\approx 16 \text{ kg Na ha}^{-1}$  (tratamento +Na);
- Tem retranslocações foliares de K mas também de Na:  
um resultado original.

# Resultados

1. Crescimento e alocação de carbono
2. Estado nutricional
3. Acúmulo e eficiência de uso de nutrientes
4. Retranslocações internas
- 5. Desenvolvimento das raízes e perdas por lixiviação**



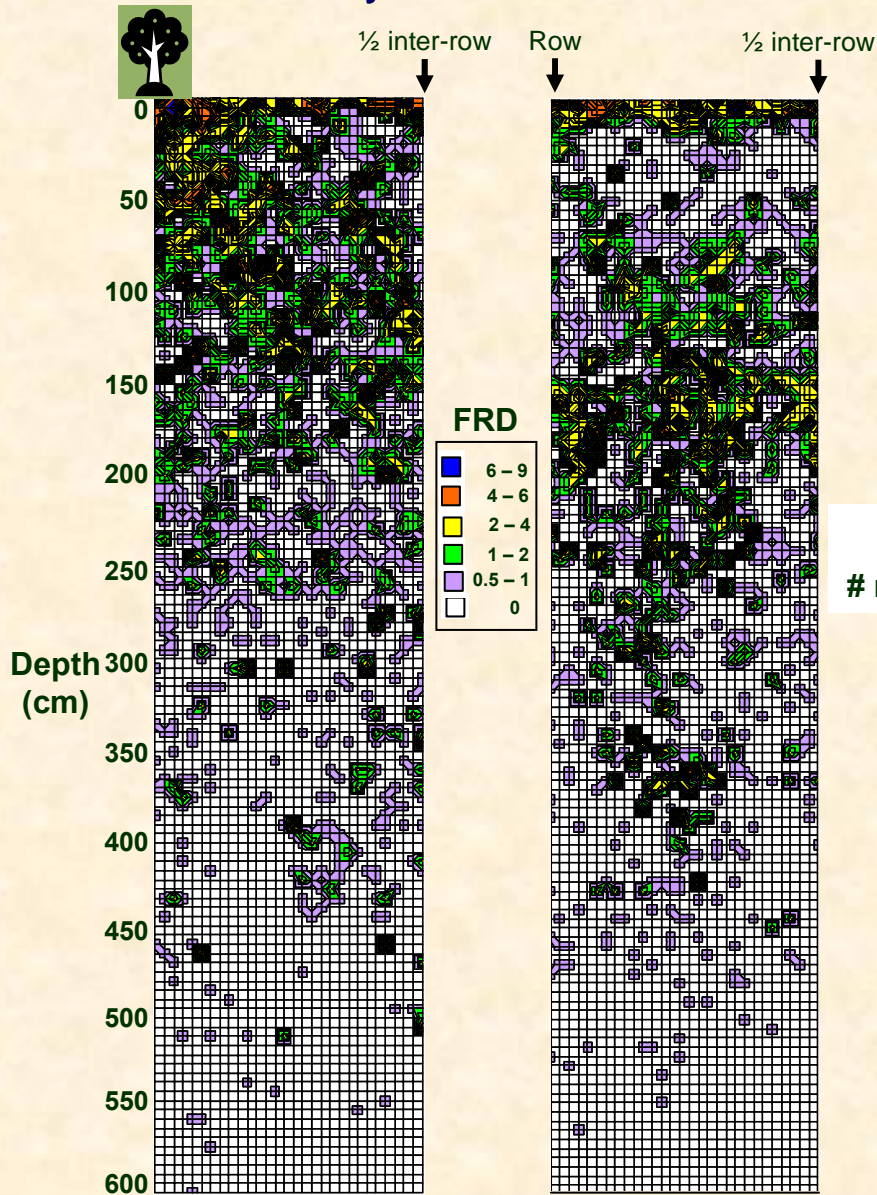
# Dispositivo experimental de lisimetria



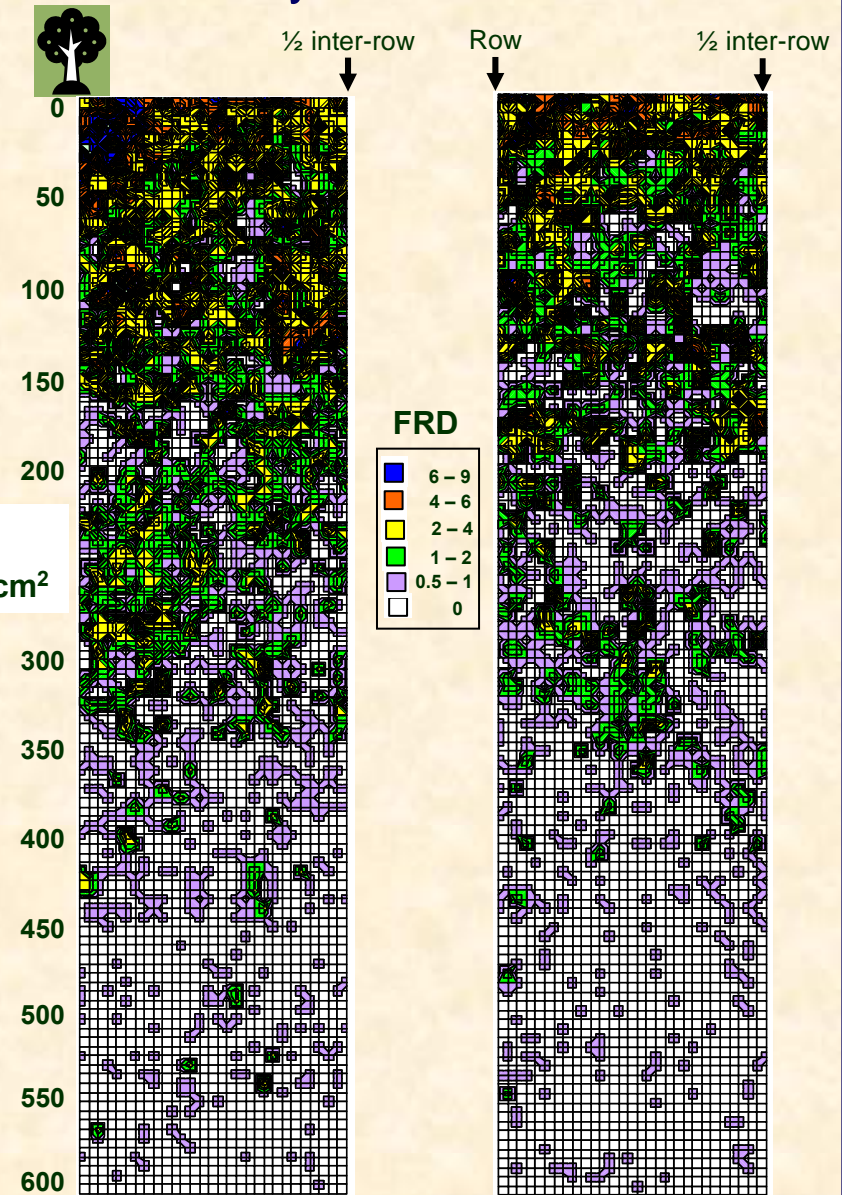


# Density of fine-root intersects (FRD) in 6 m-deep profiles (diam < 1 mm)

## 1-yr-old stand



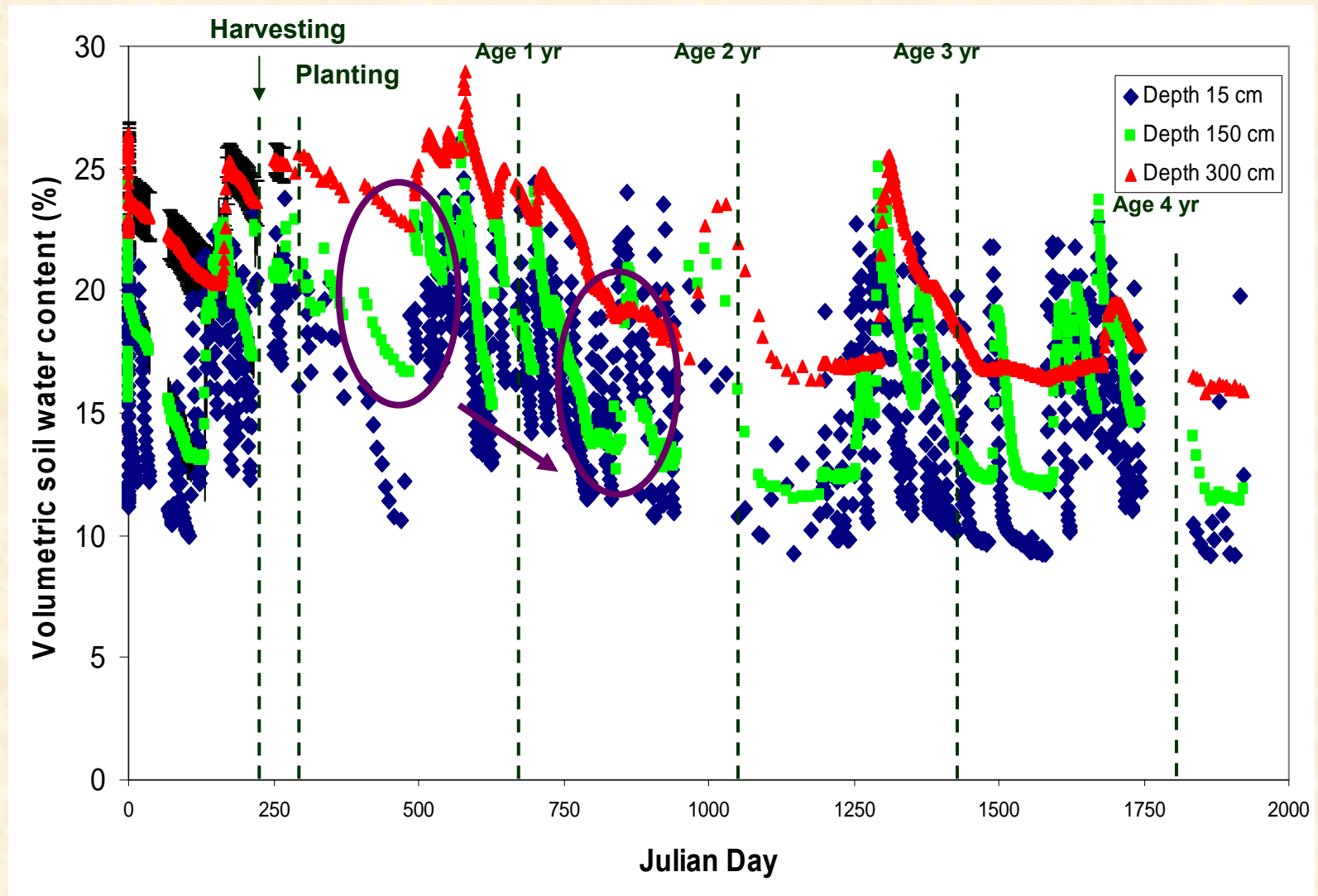
## 2-yr-old stand



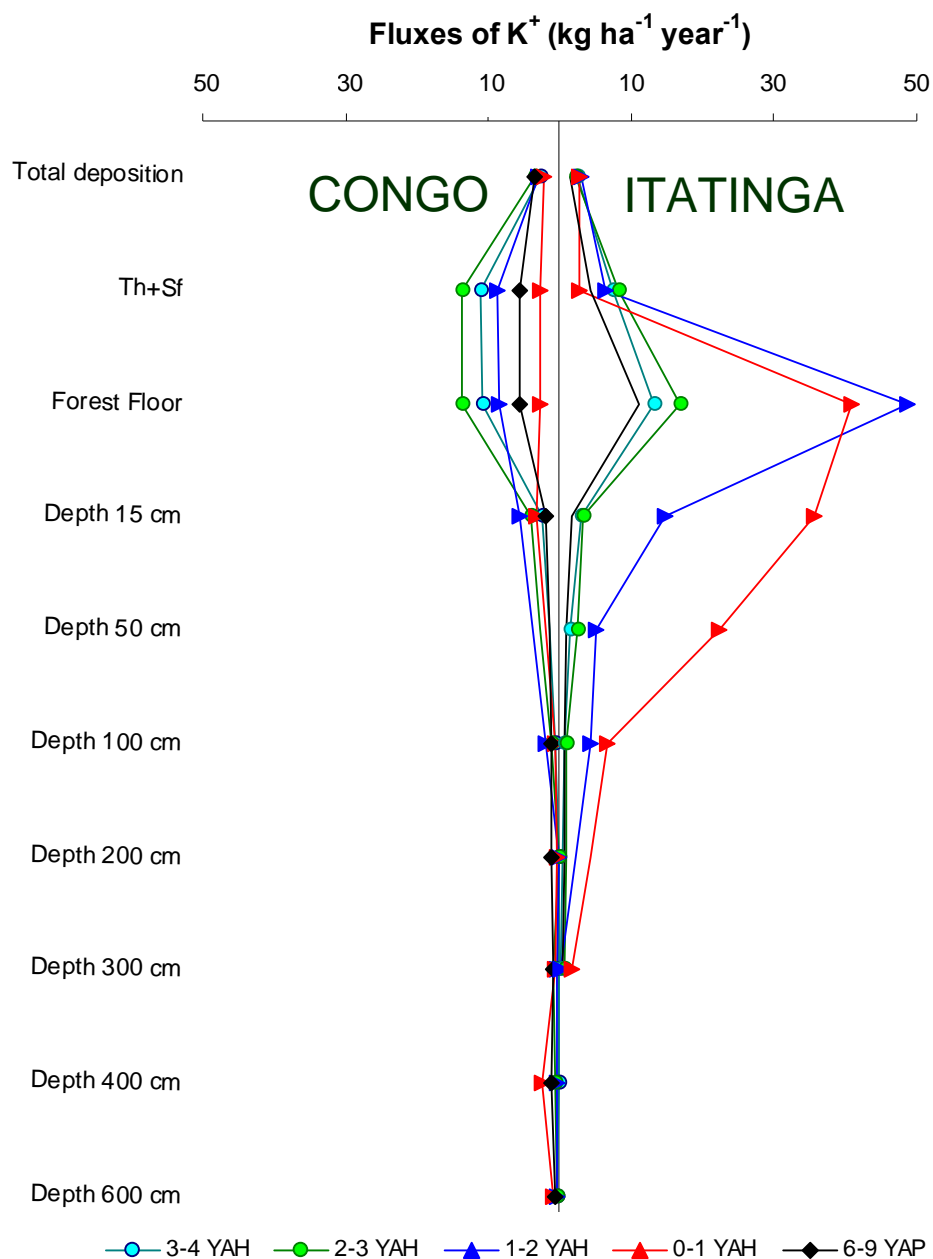
FRD  
# raiz / 25 cm²



# Monitoramento da umidade do solo



# Fluxo de $K^+$ dissolvido no ecossistema



Em solos arenosos (90% de areia no Congo e 75% em Itatinga) as perdas a 3 m de profundidade são < deposições atmosféricas.

**Qual é o parcelamento da adução KCl a aplicar nas empresas?**

# Conclusões gerais

- Os *Eucalyptus grandis* respondem a uma adubação com NaCl em solos pobres em K;
- A produtividade máxima necessita altas adubações com KCl mas as doses de K poderiam diminuir perto do mar ou quando resíduos de fábrica ricos em Na são aplicados;
- Valéria a pena re-avaliar a necessidade de parcelamento da aplicação de KCl nas empresas.
- Estudos ao longo prazo são necessários para avaliar o efeito residual sobre as rotações seguintes.

# Conclusões gerais

- **Uma proporção importante do Na aplicado fica retida no tronco:** provavelmente um mecanismo importante para evitar toxidez nas folhas.
- **Comportamentos similares do Na e do K foram observados nas árvores:**
  - Deposição de serapilheira;
  - Retranslocações internas;
  - Lixiviação foliar,...
- **Um efeito específico do K sobre o prazo de vida das folhas.**

# Perspectivas

- **Itatinga:**

- estudos das interações entre disponibilidade de K / Na e água sobre os processos ecofisiológicos.
- estudos de genômica sobre os efeitos dos estresses nutricionais (K / Na) e hídricos sobre a regulação da expressão do genoma ?

- **Nas empresas:**

- avaliar adubos mais baratos (rochas com mistura NaCl / KCl não purificada) para a produção de eucalipto.
- comparar a respostas de vários clones de eucalipto à adubação com KCl vs NaCl em função da distância ao mar.



# Perspectivas

- **Outros estudos na área da ecologia:**

- Solos intemperizados tropicais geralmente muito pobres em K;
- Outras espécies florestais tem esta capacidade de usar parcialmente o Na em ausencia de K?
- Esta capacidade substituição do K pelo Na pode ser envolvida na estrutura das comunidades vegetais em função da distância ao mar?

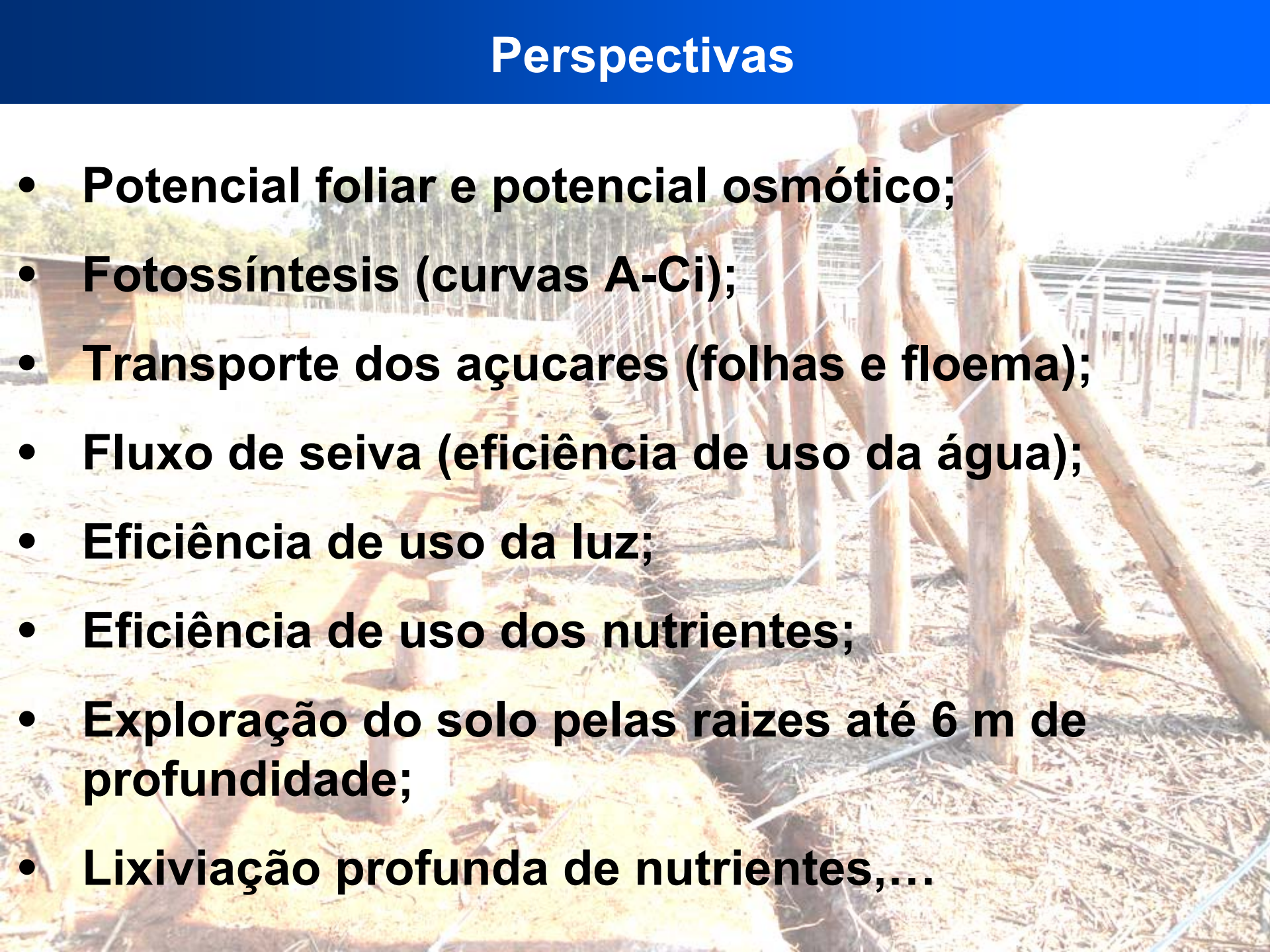








# Perspectivas

- **Potencial foliar e potencial osmótico;**
  - **Fotossíntesis (curvas A-Ci);**
  - **Transporte dos açúcares (folhas e floema);**
  - **Fluxo de seiva (eficiência de uso da água);**
  - **Eficiência de uso da luz;**
  - **Eficiência de uso dos nutrientes;**
  - **Exploração do solo pelas raízes até 6 m de profundidade;**
  - **Lixiviação profunda de nutrientes,...**
- 





**Muito obrigado pela atenção**